

Міністерство освіти і науки України
Державний Університет “Одеська Політехніка”
Інститут штучного інтелекту та робототехніки
Кафедра комп’ютерних систем

Міняйло Костянтин Олександрович
студент групи УК-161

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Дослідження стану бджолиних вуликів в реальному часі для підвищення
продуктивності

Спеціальність
123-Спеціалізовані комп’ютерні системи

Спеціалізація:
Спеціалізовані комп’ютерні системи

Керівник
Нестерюк Олександр Геннадійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри комп’ютерних систем

Одеса – 2021

Міністерство освіти і науки України
Державний Університет “Одеська Політехніка”
Інститут штучного інтелекту та робототехніки
Кафедра комп’ютерних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 Комп’ютерна інженерія
(шифр і назва)

Спеціалізація / освітня програма Спеціалізовані ком’ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ _____ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Міняйлу Костянтину Олександровичу

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження стану бджолиних вуликів в реальному часі для підвищення продуктивності

Керівник роботи:

Нестерюк Олександр Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп’ютерних систем

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора Державного Університету Одеської Політехніки від “ 01 ” жовтня 2021 року № 346-в

2. Зміст роботи: 1) Вступ; 2) Аналітичний огляд предметної області та проблематики; 3) Теорія та розробка; 4) Тестування, моделювання та перспективи системи.

3. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація – 11 слайдів

4. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 Тестування, моделювання та перспективи системи	Ситніков В. С., професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем		

5. Дата видачі завдання 01.05.21**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми кваліфікаційної роботи	01.05.21	Виконано
2	Аналіз предметної області	02.09.21 – 07.09.21	Виконано
3	Дослідження теорії впливу кліматичних умов на бджолині сім'ї	08.10.21 – 12.10.21	Виконано
4	Проектування та реалізація апаратного комплексу	13.10.21 – 17.10.21	Виконано
5	Проектування та реалізація ПЗ	18.10.21 – 28.10.21	Виконано
6	Тестування, моделювання, апробація та перспективи системи	29.10.21 – 10.11.21	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	22.11.21 – 30.11.21	Виконано
8	Оформлення презентації	01.12.21 – 11.12.21	Виконано
9	Захист кваліфікаційної роботи	29.12.21	Виконано

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Міняйло К. О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Нестерюк О. Г.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: _____.

Метою даної кваліфікаційної роботи магістра є розробка апаратно-програмного комплексу для пасічників, дозволяючий досліджувати стан всередині бджолиних вуликів за основними критеріями (відносна вологість, температура, звук, вуглекислий газ) у реальному часі з застосуванням кореляційного аналізу для визначення взаємозв'язків між вимірюваними показниками та продуктивністю пасіки з метою підвищення продуктивності бджолиних сімей.

Основними складовими апаратно-програмної системи стали: 1) апаратно-програмний комплекс на базі Arduino; 2) програмна середовище розробки Arduino IDE; 3) Fritzing; 4) Web сервер; 5) Flutter - мобільне забезпечення.

У підсумку спроектовано та розроблено апаратно-програмний комплекс - систему, функціонал якої дозволяє досліджувати стан бджолиних вуликів, тим самим вирішувати проблеми життєдіяльності бджіл, що підвищить продуктивність бджолиних сімей, а також зменшить смертність, особливо у період зимівлі, шляхом моніторингу усіх основних кліматичних факторів та моментального сповіщення пасічників у разі виникнення небезпеки. Окрім цього, реалізований метод кореляції індивідуально для кожної пасіки визначить найбільш пріоритетні показники які найбільше впливають на об'єм зібраного меду.

Програмно-апаратний комплекс також дозволяє збирати та аналізувати статистику життєдіяльності бджолиних сімей для подальшого глибокого дослідження.

Ключові слова: Arduino, Web сервер, мобільне забезпечення, апаратно-програмний комплекс.

ABSTRACT

Explanatory note to the thesis: _____.

The purpose of this thesis is to develop a hardware-software complex for beekeepers, allowing to study the state inside beehives according to the main criteria (relative humidity, temperature, sound, carbon dioxide) in real time using correlation analysis to determine the relationship between measured indicators and productivity apiaries to increase the productivity of bee colonies.

The main components of the hardware-software system were: 1) hardware-software complex based on Arduino; 2) Arduino IDE software development environment; 3) Fritzting; 4) Web server; 5) Flutter - mobile software.

As a result, a hardware and software complex was designed and developed - a system whose functionality allows to study the condition of beehives, thereby solving the problems of bees, which will increase productivity of bee colonies and reduce mortality, especially during winter, by monitoring all major climatic factors and instant notification of beekeepers in case of danger. In addition, the implemented correlation method for each apiary will determine the highest priority indicators that have the greatest impact on the volume of honey collected.

The software and hardware complex also allows to collect and analyze statistics of life of bee families for further in-depth research.

Keywords: Arduino, Web server, mobile software, hardware and software complex.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1 Загальний огляд.....	10
1.2 Предметна область.....	16
1.3 Проблема області.....	20
1.4 Рішення проблеми.....	21
1.5 Дані користувача.....	22
1.6 Характеристики апаратно-програмної системи.....	22
1.7 Проблеми предметної області.....	23
1.8 Визначення нефункціональних вимог.....	23
2 ТЕОРІЯ ТА РОЗРОБКА.....	24
2.1 Дослідження проблематики та предметної області.....	24
2.2 Реалізація методу кореляції.....	29
2.3 Проектування архітектури системи.....	39
2.4 Проектування бази даних.....	39
2.5 Реалізація апаратного комплексу.....	42
2.6 Реалізація мобільного забезпечення.....	46
2.7 Реалізація веб серверу.....	54
3 ТЕСТУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ.....	58
3.1 Перспектива розробки.....	58
3.2 Моделювання.....	59
3.3 Визначення бізнес вимог.....	61
3.4 Тестування.....	62
3.5 Апробація.....	66
ВИСНОВОК.....	68
НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ.....	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71
ДОДАТОК А. ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ.....	73

ВСТУП

На сьогоднішній день бджільництво є однією з найбільш високорозвинених галузей в Україні, кожного року займаючи провідне місце по кількості виробленого продукту.

За даними “Агропорталу” станом на 2021 рік Україна займає перше місце у Європі по виготовленню меду і третє по всьому світу [1]. Товар потрапляє до 22 країн та у 2020 році було експортовано рекордний об’єм меду - більше 81 тисячі тонн, а загальний виготовлений об’єм складає - понад 150 тисяч тонн. Варто відзначити і велику кількість людей у даній професії - понад 400 тисяч.

Однак, як і у кожній галузі, у бджільництві існують свої загрози та проблеми, які відчутно впливають на об’єм виготовленого меду та його собівартість. Однією з найбільших загроз для бджолиних сімей є несприятливі кліматичні умови, насамперед усередині вулика: різке зниження/підвищення температури та вологості, підвищена концентрація рівня вуглекислого газу, інші фактори через які бджоли гучно гудять у вуликах. За статистикою [2], до 40% бджіл не переживають зимівлю, що призводить до теоретичного зменшення виготовленого об’єму меду та змушує пасічників додатково купувати та розводити бджолині сім’ї, що збільшить собівартість кінцевого продукту. Окрім цього, несприятливі кліматичні умови пригнічують активність та здоров’я бджіл, що сприяє появі хвороб - це призводить також до зменшення продуктивності бджолиних сімей.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення продуктивності бджолиних сімей завдяки програмно-апаратному комплексу для дослідження стану бджолиних вуликів у реальному часі. Апаратно-програмний комплекс

включатиме в себе: апаратну складову - мікроконтролер, датчики, акумулятор, gprs модуль; та програмне забезпечення для моніторингу стану кліматичних умов за чотирма показниками - температура, рівень вологості, рівень вуглекислого газу, рівень шуму всередині.

Об'єктом дослідження є - життєдіяльність бджолиних сімей.

Предметом дослідження є - показники, які впливають на продуктивність бджолиних родин та їх зимову смертність.

Науковою складовою є використання методу кореляції, завдяки якому система автоматично визначатиме взаємозв'язок вимірюваних показників із виготовленим об'ємом меду та формуватиме пріоритети для кожного з показників для окремо взятої пасіки.

Методологія дослідження - побудова системи відбуватиметься за конструктивною методологією. У ході фахової роботи проведено пошук комплексного рішення, для реалізації в реальних умовах. Проблема бджолярства та фізіологічні особливості бджіл скрупульозно проаналізовані на основі іноземних та українських статей, статистичних вибірок. За допомогою методу кореляції кліматичним показникам надано пріоритети по впливу на продуктивність. Прототип апаратно-програмний комплекс пройде апробацію та тестування, з метою аналізу доцільності його використання та виявлення слабких сторін.

Наукова новизна дослідження - використання математично-статистичного методу кореляції для визначення пріоритетів для кожного з чотирьох факторів впливу на бджолині родини (температура, вологість, шум, CO_2). Завдяки цьому пасічники та дослідники матимуть чітку кореляцію між продуктивністю бджіл та кліматичними показниками в залежності від види бджіл та їх географічного місцезнаходження.

Практичне значення отриманих результатів - апаратно-програмний комплекс для моніторингу кліматичних умов в вулику, який підвищить продуктивність (виготовлення меду) бджолиних сімей із-за надання інформації про стан всередині вуликів в режимі реального часу та оповіщень

у разі перевищення норми. Метод кореляції, який виявлятиме силу взаємозв'язку між отриманим об'ємом меду та кожним з чотирьох факторів впливу та надаватиме пріоритет для кожної пасіки індивідуально в залежності від показників. Таким чином своєчасне втручання пасічників у вуликів, будь то провітрювання, перевірка стану вуликів зменшить смертність бджіл на активізує їх.

Задачами для розробки апаратно-програмної системи є аналіз предметної області та проблематики, складення плану розробки, проектування програмно-апаратної системи, теорія та розрахунки, реалізація та тестування апаратно-програмної системи, а також визначення перспектив розробки програмного продукту.

Особистий внесок магістра - автор методично досліджує проблему смертності бджолиних сімей в усьому світі та представляє її рішення - апаратно-програмний комплекс моніторингу кліматичних умов всередині кожного вулику. Детально розглянуто та аргументовано корисність системи. Реалізовано мобільне забезпечення з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом та наведеною статистикою для кожного вулика окремо. Математично-статистичний метод кореляції для аналізу зібраної статистики, що дозволить з більшою ефективністю моніторити фактори впливу на бджолині родини, а також покращить дослідження бджолиних видів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальний огляд

Бджільництво грає важливу роль у народному господарстві та економіці нашої країни. Народне господарство отримує не тільки найцінніший натуральний дієтичний продукт - мед, але й прополіс, квітковий пилок, маточне молочко, які застосовують як харчові добавки в дієтичному харчуванні та лікувальних цілях. Вони підвищують працездатність та витривалість організму людини, зміцнюють його імунну систему. Крім того, всі ці продукти знаходять застосування у парфумерії, косметиці, індустрії. Бджоли, запилюючи ентомофільні сільськогосподарські культури, підвищують їхню врожайність на 50-200 % і підвищують якість плодів, ягід, насіння [3].

Розвиток та підвищення продуктивності бджільництва в сучасному світі можливе лише при глибокому вивченні умов проживання бджіл, їх біологічних та фізіологічних особливостей як кожної особи, так сім'ї загалом. Медоносні бджоли живуть великими сім'ями (50-70 тисяч особин) і здатні збирати багато меду та пилку в запас, відвідуючи для цього велику кількість квітів. Кожна бджолина сім'я належить до певного виду.

Вигляд *Apis mellifera* є єдиною суспільною комахою, яка вступила в мутуалістичні відносини з людиною, внаслідок чого за уявленнями М. Брайна вона має тепер майже такий самий широкий ареал, як і *Homo sapiens*. Р.Шовен дав своє тлумачення цьому висловлюванню: бджоли настільки еволюціонували, що мають сім'ї, звичаї та свою ієрархію.

Україна є країною традиційного бджільництва і має величезний потенціал. Тому дослідження місцевих популяцій бджіл для відродження чистопорідного бджільництва, господарсько – корисних ознак бджолиних

сімей, а також дослідження спектра мінливості еколого фізіологічних параметрів бджіл є актуальними.

У сучасних умовах навколишнє природне середовище зазнає антропогенного навантаження, виснажуються природні ресурси, що впливають на життєдіяльність перетинчастокрилих. Гострі екологічні проблеми, температурні перепади, і навіть спалахи різних інфекційних захворювань бджіл характерні багатьох регіонів України. Особливо це стосується великих промислових центрів, у яких спостерігається високий рівень забруднення навколишнього середовища промисловими викидами, стоками та відходами у місцях розвитку бджільництва. Аргументовано той факт, що медоносні бджоли надзвичайно чутливі до змін аграрних та лісових ландшафтів внаслідок антропогенного впливу. Ця властивість бджіл лежить в основі екологічного та соціально-економічного моніторингу.

Дослідження з використання бджолиних сімей у ролі біоіндикаторів у системі екологічного апімоніторингу показали, що бджола має здатність акумулювати важкі метали і виступати в ролі організму очищувача. Цей фактор призводить до значного зниження резистентності та, відповідно, до загибелі та скорочення чисельності сімей бджіл, зниження обсягу виробленої ними продукції, що в кінцевому рахунку, відбивається на популяційних структурах медоносних бджіл [4]. Одним із основними негативними факторами на сьогодні є вплив викидів екотоксикантів стаціонарних джерел, що накопичуються в продуктах бджільництва у вигляді різних метаболітів. В даний час в країні проводиться моніторинг екотоксикантів у меді, прополісі, маточному молочку та інших продуктах. Враховуючи, що, накопичуючись у продуктах бджільництва та кормах бджіл, екотоксиканти при годівлі бджолами годувальницями по харчовому ланцюгу передаються в бджолиний розплід, матку та трутням. На сьогоднішній день актуальності набувають комплексних досліджень впливу акумуляції екотоксикантів у тілі бджіл. Вченими проаналізовано ситуацію із забруднення атмосферного повітря

джерелами промислових підприємств біля країни у взаємозв'язку з кормовими зонами.

Відомо, що найбільший внесок у забруднення повітряного басейну країни роблять такі, як нафтохімічна, нафтопереробна, нафтовидобувна, електроенергетична, деревообробна, авіаційна, целюлозно-паперова промисловість, чорна та кольорова металургія.

Загальний валовий обсяг викидів забруднюючих речовин у повітря від цих підприємств становить понад 400 тис. т на рік. Високий вміст цих речовин може спричинити різні захворювання бджіл. За даними фахівців, забруднення атмосфери перешкоджає поширенню у повітрі молекул вуглеводів, що виділяються квітковими рослинами, і знищує до 90% їх ароматів. Даний фактор заважає бджолам, чутливим до запахів, виявити джерела живлення та створювати необхідні кормові запаси, що зрештою призводить до послаблення сімей. Ця проблема вимагає комплексного підходу, значно поліпшуючи всю систему контролю за навколишнім середовищем.

З метою забезпечення високої продуктивності бджіл, пов'язаних з факторами різної етіології, багатьма авторами розглядаються такі питання як: вплив абіотичних та епізоотичних факторів на продуктивність бджіл, особливості сезонної динаміки бджолиних сімей, вивчення асиметрії парних органів (крилового апарату) бджіл, обумовленої висотною зональністю тощо.

Абіотичні фактори є важливими умовами у бджільництві, і, на жаль, не піддаються впливу людини. До цієї групи належать всі властивості неживої природи, які прямо чи опосередковано впливають на медоносні бджіл. Серед безлічі абіотичних факторів основну роль у бджільництві відіграють: кліматичні (сонячна радіація, світло та світловий режим, температура, вологість, атмосферні опади, вітер, атмосферний тиск та ін.); едафічні (механічна структура та хімічний склад ґрунту, вологоємність, водний, повітряний та тепловий режим ґрунту, кислотність, вологість, газовий склад, рівень ґрунтових вод та ін.); орографічні (рельєф, експозиція схилу, крутість

схилу, перепад висот, висота над рівнем моря); Таким чином, до абіотичних факторів належать погодно кліматичні умови. Різноманітні територіальні та кліматичні особливості, у ході тривалого процесу еволюції виділили різні види і породи бджолиних, що у свою чергу позначилося на життєдіяльності та продуктивності бджіл у цілому. Також важливим фактором, що відноситься до цієї групи, є погодні умови. Перепади температур як у зимовий, так і в весняно-літній періоді істотно впливають на якісні характеристики зимостійкості та кількісні показники медової та воскової продуктивності. У літній період до негативних моментів можна віднести тривале випадання опадів у період головного медозбору, що може призвести до мінус медового балансу пасіки. Більшість цих умов важко піддається впливу людини або вимагає для цього занадто великих витрат. Враховуючи вищеназвані фактори, слід застосовувати ті чи інші методи утримання та розведення бджолиних сімей, підбирати породи бджіл, найбільш пристосовані до місцевих умов та до відповідної системи бджільництва. Наступна група біотичних факторів – це форми впливу живих істот один на одного, тобто сукупність взаємовідносин живих організмів, і навіть їх взаємовпливів на довкілля. Медоносні бджоли постійно відчувають на собі прямий чи опосередкований вплив інших істот, вступають у зв'язок із представниками свого виду та інших видів – рослинами, тваринами, мікроорганізмами, залежить від них і самі впливають на них. До групи біотичних факторів (фактори живої природи) відноситься вплив рослин (фітогенні фактори) та вплив тварин, мікроорганізмів, грибів (зоогенні фактори). Цю групу факторів так само не можна залишити без уваги, тому що продуктивність бджолиних сімей тісно взаємопов'язана з продуктивністю і наявністю медоносних ресурсів на прилеглий до місця розташування бджолиних сімей території. Вплив зоогенних факторів суттєво позначається на життєдіяльності бджолиних сімей загалом та бджіл зокрема. Медоносна бджола є громадською комахою. Життя бджолиних сімей найтіснішим чином пов'язане з навколишнім середовищем. У медоносної бджоли в природі, як і в

інших представників фауни, є природні хижаки та шкідники, які завдають шкоди бджолиній сім'ї та галузі бджільництва в цілому. До цієї групи факторів відноситься комплекс захворювань бджіл, таких як варрооз – паразитування на бджолах кліща *Varroa destructor*; аскосфероз – інфекційна хвороба бджолиних сімей, що викликається грибом *Ascosphaera apis* [5]; нозематоз – інвазійна хвороба, що викликається спороутворюючими паразитами *Nosema apis*, *Nosema cerana*; акарапидоз – заразна хвороба дорослих бджіл, що викликається кліщем *Acarapis woodi*, який паразитує у дихальцях бджіл, та багато інших. Відомо, що великий відсоток бджолиних сімей, уражених різним захворюваннями на території Російської Федерації та інших країнах світу призводить до зниження продуктивності бджіл, зменшення сили бджолиних сімей та зрештою до їх загибелі. До найважливіших абіотичних факторів належить світло. Саме добовий ритм освітлення зумовлює річну динаміку життєвих циклів (фотоперіодизм) тварин, у тому числі медоносною бджолою. Найбільше значення має для зміни різних станів (активний стан, зимовий спокій), а також розмноження та роїння. Природно, що вплив світла може модифікуватися іншими абіотичними факторами, насамперед – температурою та вологістю. Цими основними компонентами клімату, істотно визначили початковий ареал медоносною бджолою. Температура і вологість найбільше впливають на комах за умов середовища II порядку (за межами житла). Як низькі, і занадто високі значення цих чинників обмежують льотну активність медоносною бджолою. Найбільше впливає температура на сім'ю бджіл, а чи не на окрему особину. Так, зареєстровано наявність літньої репродуктивної діпаузи у медоносних бджіл. У цьому ж періоді зростає кількість випадків асиметрії парних органів та структур у дорослих комах, змінюються розміри хоботка, крил, стернітів, кількості зачіпок у бджіл. Популяції бджіл накопичують менше жиру, білка та вологи до зимівлі; репродуктивна діпауза у маток за умов теплої зими скорочується до 2-2,5 місяці. Зрештою, саме температура може стати вирішальним чинником успішності зимівлі.

Особливе значення для бджіл мають ультрафіолетове випромінювання, частково видиме для них, і поляризоване світло неба, що є однією з найважливіших передумов у маршрутній орієнтації бджіл у похмуру погоду.

Дуже чутливі бджоли та до впливу інших різних випромінювань, вібрацій, електромагнітних полів тощо [6]. З одного боку, вони можуть допомагати орієнтуватися комахами у просторі, а з іншого — їх порушення діяльністю людини може бути однією з причин підвищеної смертності бджіл таким чином, доведено, що саме абіотичні фактори впливають на інтенсивність прояву епізоотичного процесу при інфекційних хворобах бджіл. Доказом цього є залежність імунітету бджіл у природно – кліматичних умовах із різною інтенсивністю антропогенного навантаження.

Іншим важливим фактором, що впливає на поширення та прояв епізоотичного процесу, є ступінь контамінації корму в бджолиних сім'ях. Загострення епізоотичного процесу на пасіках тепличних господарств створюється щоразу на час вступу нових партій бджолиних сімей та пакетів з інших господарств. Хворі бджолині сім'ї надходять у теплиці, де не можуть проводити якісне запилення сільськогосподарських культур та, перебуваючи в замкнутому просторі, сім'ї перезаражаються, у разі стресових ситуацій швидко гинуть, збільшуючи інфекційну масу патогенів.

Таким чином благополучне утримання та розведення бджіл у природно кліматичних умовах можливе лише при селекції їх за господарсько корисними ознаками (зимостійкість, стійкість до хвороб та продуктивність). Розробка засобів, які забезпечують поліпшення умов утримання сімей, а також застосування речовин, що сприяють як придушенню патогенної мікрофлори, так і підвищенню життєздатності самих бджіл за допомогою різних адаптогенів, є необхідними.

1.2 Предметна область

Предметною областю дослідження кваліфікаційної роботи магістра є бджолині родини та їх процеси життєдіяльності. А саме зосередження на підвищеній смертності бджіл та пригнічення їх активності зовнішніми факторами, такими як: кліматичні умови, хвороби, тощо.

У 1991 р на держпідприємствах та у приватному секторі було більше 3,5 млн сімей, через десятиліття стало 665 тисяч сімей. Останні 20 років чисельність бджолосімей коливається в межах 2,5–2,9 мільйонів. Тенденція на спад різко зменшилася після 2015 року.

Кількість бджолосімей 30 років тому по областях:

Вінницька – 340 000;

Донецька – 338 000;

Луганська - 238 000;

Черкаська – 203 000;

Дніпропетровська, Полтавська, Харківська, Запоріжжя - 164000-168 000.

Сьогодні ситуація змінилася. Три лідери:

Хмельницька область – 234 000 бджолосімей (у 2018 р. було 339 000);

Житомирська - 197 000 бджолосімей;

Вінницька області – 193 000 бджолосімей.

Динаміка кількості бджолиних сімей зображена на Рисунку 1.1:

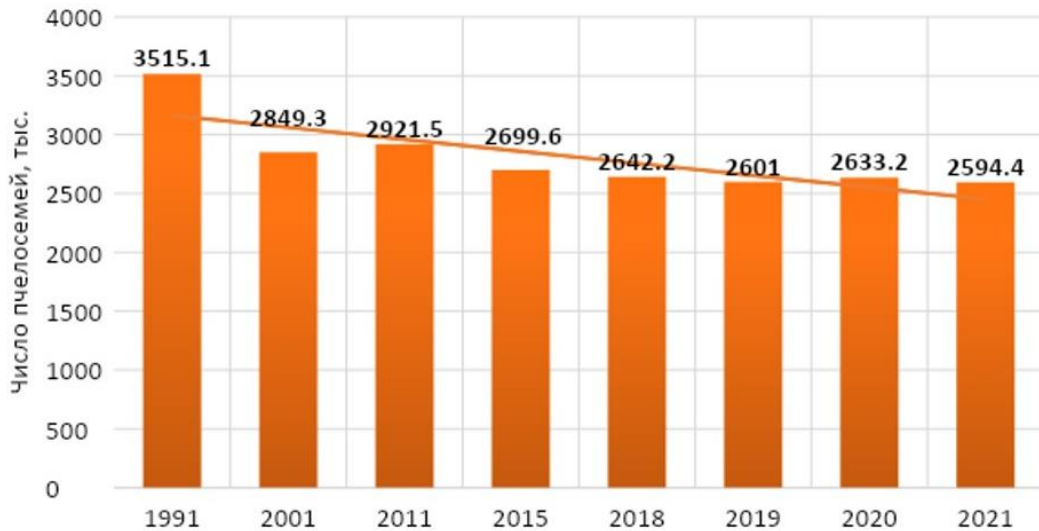


Рисунок 1.1 - Динаміка кількості бджолиних сімей

Порівняльний аналіз показав: число сімей на пасіках приватних бджолярів у 1991 р. майже не змінилося до 2021 р., навіть трохи зросло з 2,527 млн. до 2,555 млн. Але в 25 разів зменшилося число бджолосімей, яких раніше розводили в держсекторі.

За перші 10 років після проголошення незалежності України кількість вуликів на пасіках колишніх колгоспів та радгоспів, перейменованих на сільгоспідприємства, ТОВ, ВАТ, зменшилась у 3 рази. Далі падіння пішло ще швидшими та катастрофічними темпами.

Станом на 01.01.2021 р. у держсекторі міститься всього 39 300 сімей. Це говорить про те, що для так званих інвесторів, які взяли в оренду державну землю, пасіки не потрібні. Вони не підтримують їхню кількість, не кажучи про нарощування.

На Рисунку 1.2 візуалізовано статистику кількості бджолиних родин у приватних пасіках (рожевий) та у державних:

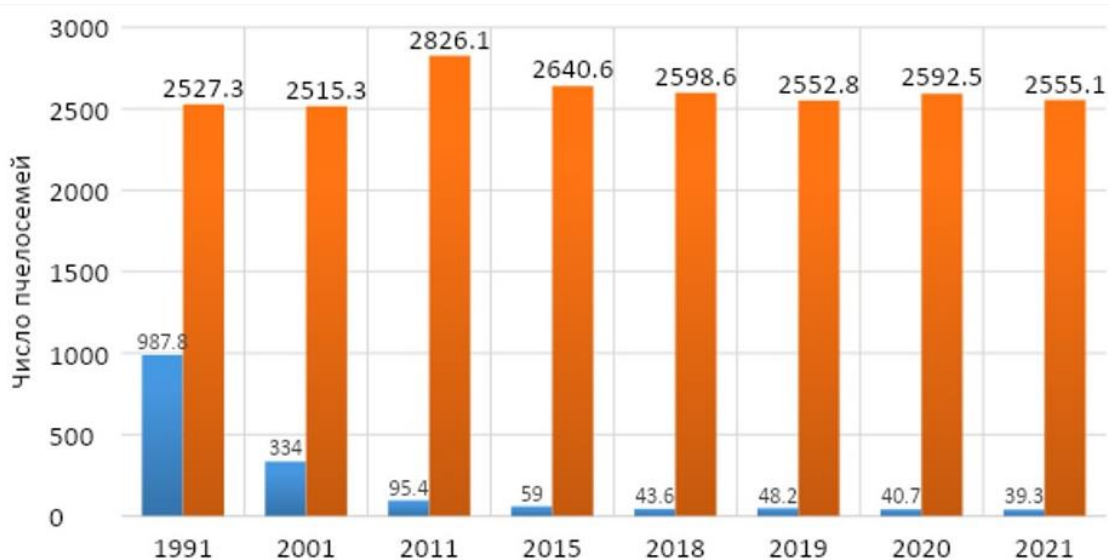


Рисунок 1.2 - Кількість бджолиних сімей у приватних та державних пасіках

Вироблені «державним вуликом» 16,7 кг меду говорять про розкрадання, використання застарілих технологій і нехтування пасіками в порівнянні з приватниками.

Майже дворазове підвищення виробництва меду в перерахунку на бджолосім'ю - заслуга виключно бджолярів приватного сектора. Саме вони дають такі результати завдяки:

- покращення технологій;
- самостійного відбору найкращих маток;
- закупівлі імпортованих порід (включаючи німецьку селекцію);
- кочівкам.

На Рисунку 1.3 зображено кількість меду у кілограмах зібраного з однієї бджолиної родини:

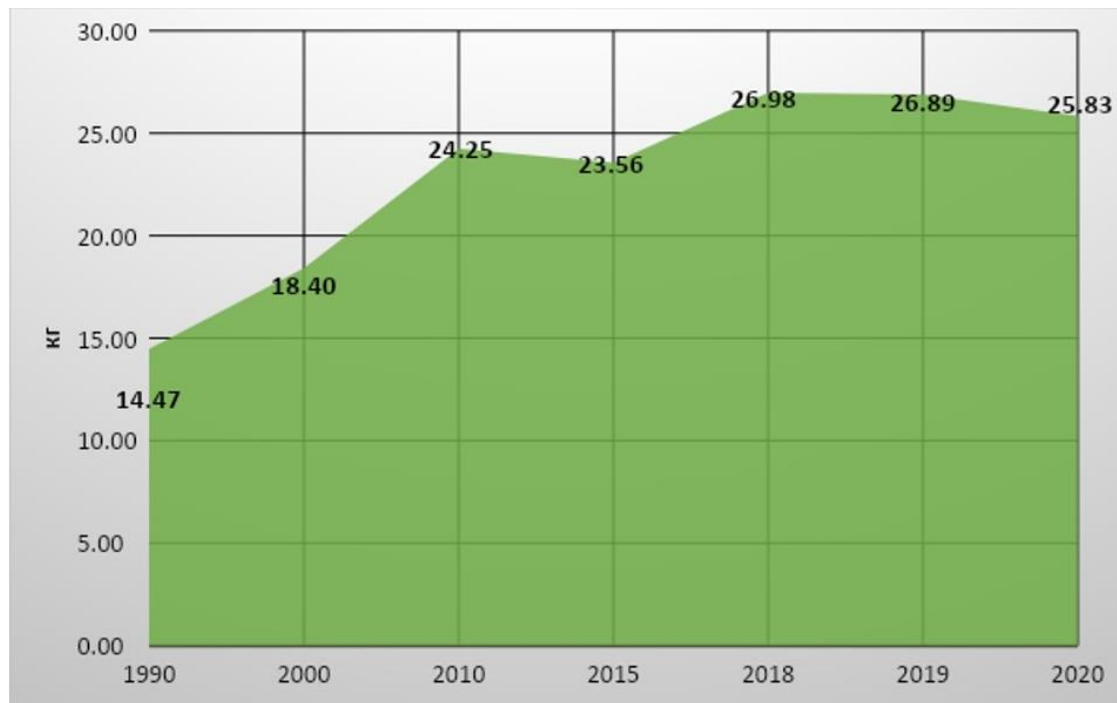


Рисунок 1.3 - Вага зібраного меду з однієї родини

За 30 років бджолярі-приватники з 40 000 т меду вийшли на 67 370 т або в 1,7 раза наростили збирання всупереч політиці уряду. Закони не захищають бджіл від витрат недобросовісними аграріями, в країні до мінімуму зведено держпрограми стимулювання, включаючи пільгове оподаткування та кредитування.

Прогноз.

До 2040 року кліматологи ООН прогнозують підвищення середньорічної температури на планеті на 1,5°C. Песимістичний сценарій до 2100 г – зростання температури на 5,7 °C. Через 30 років на Північному Льодовитому океані зникне лід. Ліси Амазонії можуть перетворитися на савану. Аналогічна картина, яку посилюють природні пожежі, буде і в Україні.

Вже зараз південні регіони країни (Херсонська, Одеська, Запорізька, що примикає до Азовського моря, Миколаївська області) різко відрізняються кліматом від інших. Звичні культури (включаючи медоноси) поступово зникатимуть звідти, перекочуючи на північ.

Температурні перепади посилюються:

підгодівлею бджіл сиропом з тростинного цукру, а не бурякового;
частими кочівками та міграціями з інших регіонів;
використанням інсектицидів та пестицидів.

Все це значно послаблює бджіл. За словами пасічників, сім'ї виходять із зимівлі ослабленими після згодовування сиропу з тростинного цукру. Якщо це підживлення припадає на весну, то на початок літа сила сімей знижується до 8-9 рамок у порівнянні з 12-14 рамками у тих, хто зимує на якісному меді.

Висновок та прогноз. У перспективі на найближчу 5-річку, до 2025 року:

Число бджолосімей на приватних пасіках України зростатиме.

Державні пасіки без реальної підтримки інвесторів, МАП та чиновників зникнуть.

Експортний продаж меду зросте до 100-120 тис. т.

Ціна на елітні сорти підніметься в оптовій скуповуванні до 5€/кг, звичайні – до 2€/кг.

1.3 Проблема області

Згідно офіційній статистиці на 2020-рік багато бджіл не пережили зимівлю - 40-50% загинуло(згідно аналізу порталу Agroportal[1]). Що безпосередньо впливає на кінцевий об'єм виробленого меду та збільшує собівартість продукції, оскільки пасічники змушені докупати бджолині сім'ї.

Головним фактором, що впливає на загибель бджіл є кліматичні умови всередині вулика та неможливість пасічників вчасно отримати дані про їх стан та оперативно вирішити. На сьогоднішній день не існує рішень для цієї проблеми.

На Рисунку 1.4 візуалізовано статистику ураження українських пасік.

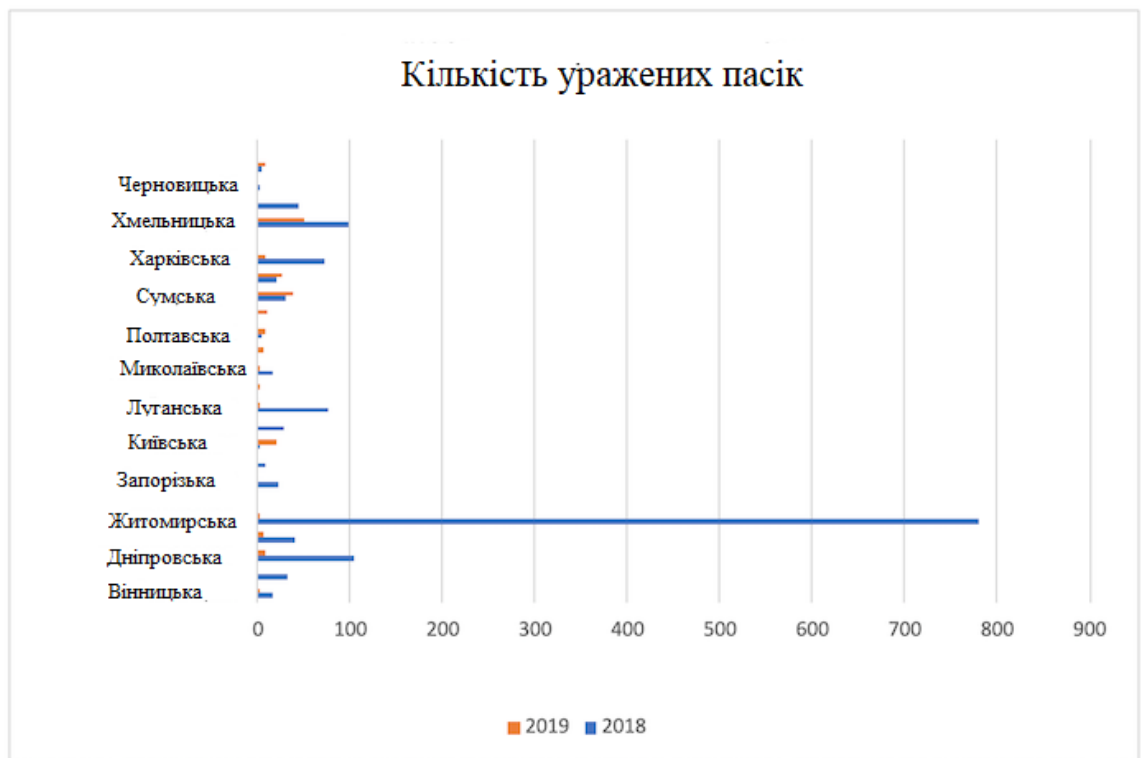


Рисунок 1.4 - Кількість уражених пасік

1.4 Рішення проблеми

Рішенням, яке дозволить зменшити смертність бджіл, підвищити їх активність, фізіологічний стан, чим самим збільшити продуктивність бджолиних сімей - є апаратно-програмний комплекс, який дозволить моніторити та сповіщати в режимі реального часу про стан всередині вуликів.

Система складається з апаратної частини: контроллер, датчики; та програмної - веб сайт, мобільне забезпечення. Вологість, температура, рівень вуглекислого газу, рівень гучності у децибелах - основні 4 параметри для моніторингу.

Предметною областю апаратно-програмного комплексу є:

- 1) бджолині пасіки
- 2) бджолині підприємства

1.5 Дані користувача

Користувачі представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Користувачі апаратно-програмного комплексу

Назва	Опис
Пасічник	Головна мета – отримувати інформацію про стан кліматичних умов всередині бджолиних вуликів, щоб у разі небезпеки оперативно вирішити проблему.
Дослідник	Головна мета – отримати велику кількість даних та статистики про життєдіяльність бджіл.
Споживач IoT	Головна мета – моніторити за яких умов виготовляється мед

1.6 Характеристики апаратно-програмної системи

Система виконує наступні функції:

- 1) є автономною та підключається до мережі Інтернет;
- 2) зчитує кліматичні показники всередині бджолиного вулика;
- 3) передає дані до виділеного серверу;
- 4) програмне забезпечення повідомляє користувачів про кліматичні показники.

1.7 Проблеми предметної області

У даній галузі були виявлені можливі проблеми:

1) апаратно-програмний комплекс під'єднується до мережі інтернет через gsm модуль, але у дуже віддалених місцях сигнал може бути слабким.

1.8 Визначення нефункціональних вимог

Вимоги надійності.

Надійність та стійкість функціонування системи забезпечуються за рахунок:

1) автоматична перевірка на справність апаратних компонентів;
2) проста та інтуїтивно зрозуміла логіка функціонування системи;
3) апаратна частина системи має індивідуально виготовлений пластиковий корпус, який захистить від фізичних впливів.;

Вимоги до продуктивності:

1) Максимальний час запуску системи 60 секунд.
2) Максимальний час передачі даних - 5 секунд.
3) Мінімальний час автономної роботи - 720 годин.

Вимоги до умов експлуатації.

Необхідне мінімальне стабільне з'єднання з мережею Інтернет.
Максимально допустимий рівень вологості для стабільної роботи - 90%.

Вимоги до середовища функціонування:

1) Програмні вимоги - будь яка операційна система та доступ до Інтернету.

2 ТЕОРІЯ ТА РОЗРОБКА

Для підвищення продуктивності бджолиних сімей необхідно чітко визначити які зовнішні умови впливають на бджіл та обрати найбільш важливі.

2.1 Дослідження проблематики та предметної області

2.1.1 Фактор температури

Зміна експозиції ландшафту влітку та восени може впливати на здоров'я сімей медоносних бджіл за допомогою багатьох механізмів, включаючи наслідки забруднення пестицидами, хвороб або недоїдання [7]. Особливу стурбованість викликає втрата бджіл у період зимівлі. Коефіцієнт втрат при зимівлі є важливим фактором, тому що здорова Колонія коштує великих грошей при комерційному запиленні; вона може бути розділена на дві або більше колоній для збільшення запасів; і більш ймовірно, що в наступному році вона виробить велику кількість меду. І навпаки, багато хвороб і недоліків можуть проявлятися або посилюватися протягом зимового періоду, включаючи Варроа, різні віруси, трипаносоми, ноземну хворобу і дизентерію без ноземи. Вплив пестицидів восени може підірвати імунний захист, збільшити рівні носеми і Варроа і зменшити зростання колоній під час і після зимівлі.

Вживання бджолиної сім'ї в зимовий період залежить від здоров'я робочих бджіл, а також від кількості і якості зберігаються продуктів харчування, в той час як принцип взаємодії з навколишнім середовищем полягає в регулюванні температури. Гомеостаз і зміни колоній в зимовий період вивчалися з використанням калориметрів і температурних масивів у вулику. Вживання і розвиток виводка, особливо лялечок, залежить від

постійної температури близько 34-36 °С. Бджолині сім'ї також впливають на температуру за відсутності розплоду. Здатність бджолиної колонії підтримувати температурний гомеостаз, по меншій мірі, в частині вулика, є результатом скоординованої поведінки і, отже, може свідчити про функціонування і здоров'я колонії [8]. Таким чином, моніторинг цієї температури може виявити аспекти здоров'я колонії, навіть якщо основні причини або механізми відмінностей у контролі температури між колоніями не повністю зрозумілі. Тут ми використовували безперервні дані про температуру як змінну відгуку, щоб розрізнити вплив різних міграційних маршрутів на рівні груп на здоров'я та виживання бджолиної колонії.

2.1.2 Фактор складу повітря

Молекулярний кисень (O₂) і вуглекислий газ (CO₂) [9] є первинним газоподібним субстратом і продуктом окисного фосфорилування в дихальних організмах відповідно. Розбіжність рівнів будь-якого з цих газів за межами фізіологічного діапазону становить серйозну загрозу для виживання клітин, тканин і організму. Тому дуже важливо контролювати ендогенні рівні та підтримувати їх у відповідних концентраціях для підтримки гомеостазу. Вищі організми, такі як ссавці, розвинули механізми, щоб відчувати O₂ і CO₂ як в кровообігу, так і в окремих клітинах і викликати відповідні коригувальні реакції для сприяння адаптації до поширених умов, таких як гіпоксія та гіперкапнія. Це можуть бути гострі та тимчасові нетранскрипційні реакції, які зазвичай виникають на рівні всієї фізіології тварин, або більш стійкі реакції транскрипції, які сприяють хронічній адаптації. У цьому огляді ми обговорюємо механізми, за допомогою яких ссавці відчують зміни в O₂ і CO₂ і викликають адаптивні реакції для підтримки гомеостазу. Ми також обговорюємо перехресні перешкоди між цими шляхами та те, як вони можуть являти собою цілі для терапевтичного втручання в ряді патологічних станів.

Атмосферне повітря являє собою природну суміш різних газів, серед яких найбільший вплив на життєдіяльність бджіл надає кисень (O_2), якого в атмосфері міститься близько 21%, і вуглекислий газ (CO_2), вміст якого в атмосфері становить 0,03%.

Склад газового середовища в бджолиному вулику сильно відрізняється від атмосферного повітря [10]. Це пов'язано з тим, що споживання кисню сім'єю і виділення вуглекислого газу завжди відбувається в замкнутому обсязі бджолиного житла, яке слабо пов'язане із зовнішнім середовищем. Повітрообмін здійснюється в основному через отвори для відводу, систему вентиляції і щілини на стиках складних частин вулика. Завдяки повітрообміну з зовнішнім середовищем в гніздо надходить кисень, а вуглекислий газ і водяна пара видаляються. Повітрообмін (аерація) внутрішнього простору вулика здійснюється за рахунок активної і пасивної вентиляції, а також за рахунок фізичного явища дифузії.

Активна вентиляція забезпечується діяльністю вентиляційних бджіл на вході. Інтенсивність цієї вентиляції залежить від потреб сім'ї та її фізіологічного стану.

Пасивна вентиляція гніздового простору відбувається через щілини у верхній частині вулика завдяки фізичному явищу конвекції. Суть його полягає в тому, що тепле повітря, що має меншу щільність і вагу, завжди буде мимовільно підніматися вгору і залишати гніздо через отвори в стелі (через висхідну вентиляцію).

Що стосується дифузії, то суть цього фізичного явища полягає в мимовільному вирівнюванні концентрацій однойменних газів на межі розділу двох обсягів, в яких концентрації цих газів різні [11].

Кисень і вуглекислий газ по-різному розподіляються в бджолиному житло через нерівномірний розподіл дорослих і розвиваються особин бджолиної сім'ї і різного рівня вентиляції в різних зонах житла.

Концентрація вуглекислого газу в центральній частині гнізда зазвичай вище, ніж на периферії. Навпаки, концентрація кисню нижче в центрі і вище

на периферії. Ці зональні відмінності в концентраціях також значною мірою залежать від температури зовнішнього повітря. Так, при зміні температури зовнішнього повітря ранньою весною від -3 до +9°C концентрація вуглекислого газу в центральній частині гнізда підтримується бджолами на рівні 1,8-3,7%, а кисню - близько 6%. З підвищенням зовнішньої температури ближче до кінця весни до 6-24°C концентрація вуглекислого газу в цій зоні житла знижується до 1,3-0,15%, а вміст кисню збільшується до 15,7-20,3%.

Вміст кисню і вуглекислого газу в бджолиному вулику також пов'язано з фізіологічним станом колонії і, отже, змінами в циклі її сезонного розвитку. Різні стресові фактори можуть мати значний вплив на газове середовище в оселях бджіл. Одним з таких факторів є транспортування бджолиних сімей, наприклад, при міграції на медоноси. Під час транспортування виникає вібрація гнізд, що сильно турбує бджіл. Це спонукає їх йти в надрамний простір, що призводить до різкого зменшення газообміну між внутрішньою частиною гніздового простору і зовнішнім середовищем. В результаті концентрація вуглекислого газу у вулику різко підвищується і може досягати 4%, тобто перевищувати його вміст в атмосферному повітрі в 130 разів! У той же час температура у вулику різко підвищується, і сім'я може "вимертати".

Далі давайте подивимося, як змінюється газовий склад всередині бджолиних жител в період їх зниженої активності (осінь - зима - весна), коли бджоли знаходяться в клубі.

У цей період при будь-якому утворенні клубка концентрація кисню в ньому зменшується, а концентрація вуглекислого газу збільшується. Так, при осінньому зниженні температури до 0°C концентрація CO₂ в центральній частині гнізда встановлюється на рівні 2,5%, а на периферії - до 1,2%; кисню: в центрі - на рівні 10%, а на периферії - до 15%. При подальшому зниженні зовнішньої температури і утворенні щільного клубу концентрація CO₂ в житло збільшується, а O₂ зменшується.

Помічено, що якщо зимівлю бджіл проводити з використанням електрообігріву з нагрівальними елементами, розташованими в нижній частині вулика, то концентрація вуглекислого газу в просторі над рамкою буде в 2-2, 5 рази нижче, ніж у вулику без електрообігріву.

В цілому бджоли негативно ставляться до накопичення вуглекислого газу в своєму житлі і починають його провітрювати. Більш того, активність вентиляційних бджіл і їх чисельність при інших рівних умовах залежать від концентрації CO₂. Влітку бджоли вирішують проблему видалення надлишку вуглекислого газу з гнізда в поєднанні з видаленням надлишку вологи з нектару, що не становить для них праці в цей період. А як щодо ситуації взимку, коли бджоли змушені йти в клуб? Виявляється, в цей період бджоли видаляють вуглекислий газ з гнізда двома способами. Перший з них заснований на зниженні щільності бджіл в клубі, що покращує повітропроникність всередині гнізда і видалення з нього вуглекислого газу. Другий спосіб пов'язаний з активною вентиляцією гнізда бджолами-вентиляторамі поза клубом. Таким чином, бджоли починають провітрювати гніздо, коли одного зменшення щільності клубу вже недостатньо для видалення надлишку вуглекислого газу, який збуджує бджіл [12].

Було встановлено, що бджоли, зимуючі в приміщенні при температурі близько 0°C, починають активно провітрювати гніздо, коли в периферійній частині житла досягається концентрація CO₂ 4%. При подальшому збільшенні концентрації бджоли стають ще більш збудженими (Е.К. Єськов, 1983). Бджолярі іноді чують, як сім'я буквально "реве" під час поганої зими. Зазвичай це пояснюється тим, що в сім'ї жарко. Однак це вірно лише частково. Основною причиною, що змушує бджіл запускати механізм активної вентиляції гнізда, як і раніше є надлишок вуглекислого газу в гнізді.

2.1.3 Фактор вологості повітря

Вологість у вулику - це складна змінна навколишнього середовища, що є результатом екзогенних (метеорологічні умови навколишнього середовища) і ендогенних (метаболізм і поведінка бджіл) факторів [13].

Останні дослідження показують, що колонії активно регулюють вологість гнізда.

Відносна вологість в здорових колоніях, як правило, знаходиться в межах 40-60 %, проте в якості можливого показника придатності колонії виступає відносна стабільність вологості, а не точне значення.

2.1.4 Фактор звуку

Коли у королеви з'являються ознаки старіння, хвороби або зменшення кількості яєць, робочі бджоли замінюють її. Спочатку вони відбирають кілька свіжо відкладених яєць у колишньої королеви і починають годувати їх високобілковим речовиною - маточним молочком. Приблизно через 14 днів маленькі королеви з'являються і починають видавати звуки, щоб дати знати конкуруючим королевам, що вони готові боротися. У бджолиному світі королевами не народжуються, а стають після серйозної боротьби.

За допомогою аудіо-датчиків у вуликах, які збирають ці дані, бджолярі тепер знають, коли повинна з'явитися нова королева, яку вони раніше не змогли б виявити.

2.1.5 Висновок

Спираючись на дані отримані вченими з Сполучених Штатів Америки та Європи було встановлено та доведено важливість таких кліматичних показників як: 1) температура; 2) вологість; 3) рівень вуглекислого газу. А також рівень шуму та його частота всередині вулика.

2.2 Реалізація методу кореляції

Після аналізу статистичних даних та статей було прийнято рішення реалізувати статистично-математичний метод кореляції з метою виявлення закономірностей між кожною з чотирьох змінних які вимірюються та продуктивністю бджолиних сімей.

2.2.1 Кореляція

Кореляція – це статистичний метод, який використовується для оцінки можливого лінійного зв'язку між двома безперервними змінними [14]. Його просто і підрахувати, і інтерпретувати. В цьому розділі наведено інформацію щодо належного використання кореляції. Наведено приклади застосування коефіцієнта кореляції з використанням даних статистичного моделювання, а також реальних даних. Надано практичне правило для інтерпретації розміру коефіцієнта кореляції.

Онлайн-словник Вебстера визначає кореляцію як взаємне відношення між двома або більше речами; статистичні дані, що представляють, наскільки тісно змінюються дві змінні; він може змінюватися від -1 (ідеальна негативна кореляція) через 0 (відсутня кореляція) до $+1$ (ідеальна позитивна кореляція).

З точки зору статистики, кореляція є методом оцінки можливого двостороннього лінійного зв'язку між двома безперервними змінними. Кореляція вимірюється статистикою, яка називається коефіцієнтом кореляції, який представляє силу передбачуваного лінійного зв'язку між змінними, про які йдеться. Це безрозмірна величина, яка приймає значення в діапазоні від -1 до $+1$. Коефіцієнт кореляції, рівний нулю, вказує на те, що між

двома безперервними змінними не існує лінійного зв'язку, а коефіцієнт кореляції -1 або $+1$ вказує на ідеальну лінійну залежність. Сила зв'язку може бути де завгодно від -1 до $+1$. Чим сильніша кореляція, тим ближче коефіцієнт кореляції наближається до ± 1 . Якщо коефіцієнт є додатним числом, змінні безпосередньо пов'язані (тобто, коли значення однієї змінної зростає, значення іншої також має тенденцію до цього). З іншого боку, якщо коефіцієнт є від'ємним числом, змінні є оберненими (тобто, коли значення однієї змінної зростає, значення іншої має тенденцію до зменшення). Будь-яка інша форма зв'язку між двома безперервними змінними, які не є лінійними, не є кореляцією в статистичних термінах. Щоб підкреслити цей момент, математичний зв'язок не обов'язково означає наявність кореляції. Наприклад, розглянемо рівняння $y=2x^2$. З точки зору статистики, недоречно говорити про кореляцію між x і y . Це відбувається тому, що, хоча зв'язок існує, зв'язок не є лінійним у цьому діапазоні вказаних значень x . Можна точно передбачити y для кожного значення x у заданому діапазоні, але кореляція не дорівнює ні -1 , ні $+1$. Отже, це було б несумісним із визначенням кореляції, і тому не можна сказати, що x корелює з y .

Існує два основних типи коефіцієнтів кореляції: коефіцієнт кореляції моменту добутку Пірсона і коефіцієнт кореляції рангу Спірмена. Правильне використання типу коефіцієнта кореляції залежить від типів досліджуваних

змінних. Було зосереджено на цих двох типах кореляції; інші типи засновані на них і часто використовуються, коли розглядаються кілька змінних.

Коефіцієнт кореляції моменту добутку Пірсона позначається як ρ для параметра сукупності і як r для вибіркової статистики. Він використовується, коли обидві досліджувані змінні розподілені нормально. На цей коефіцієнт впливають екстремальні значення, які можуть перебільшувати або пригнічувати міцність зв'язку, і тому є недоречним, коли одна або обидві змінні не розподілені нормально. Для кореляції між змінними x і y формула для розрахунку вибіркового коефіцієнта кореляції Пірсона задається як

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (1)$$

де x_i та y_i – значення x та y для i -ї особи.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена позначається як ρ_s для параметра сукупності і як r_s для вибіркової статистики. Це доречно, коли одна або обидві змінні є скошеними або порядковими, і є надійним, коли присутні екстремальні значення. Для кореляції між змінними x і y формула для розрахунку вибіркового коефіцієнта кореляції Спірмена задається як

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

Різниця між коефіцієнтами кореляції Пірсона і Спірмена в програмах буде обговорюватися на прикладах нижче.

Дані, зображені на Рисунках 2.1–4, були змодельовані з двовимірного нормального розподілу 500 спостережень із середніми 2 та 3 для змінних x та y відповідно. Стандартні відхилення становили 0,5 для x і 0,7 для y . Для

кореляцій 0,2, 0,5, 0,8 та $-0,8$ були створені графіки розсіювання [15].

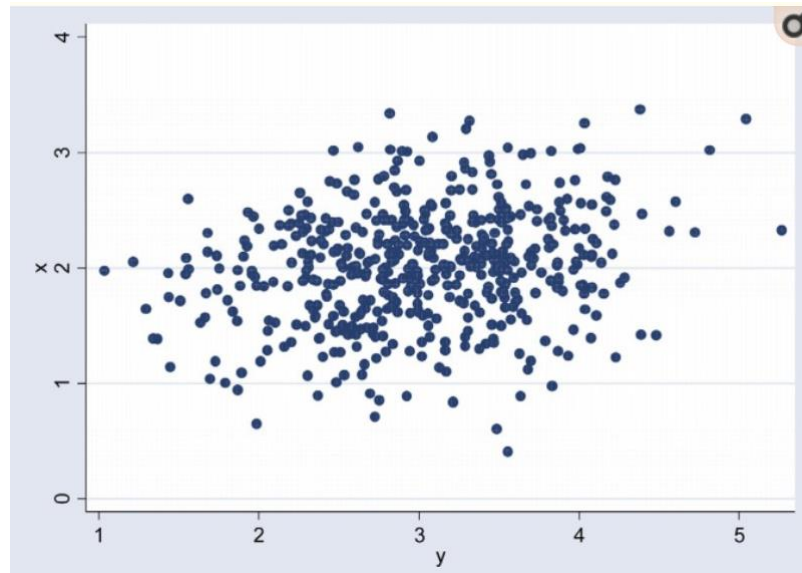


Рисунок 2.1 - Графік кореляції

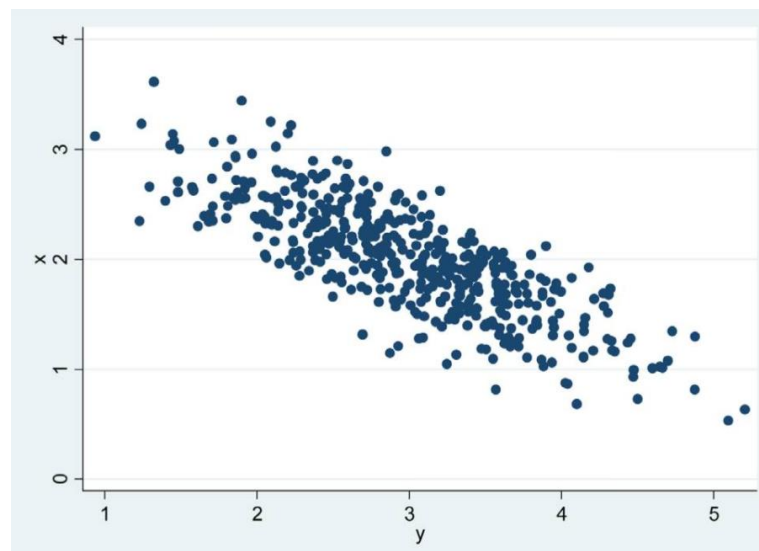


Рисунок 2.2 - Графік кореляції

На Рисунку 2.1 діаграма розсіювання показує деяку лінійну тенденцію, але тенденція не настільки чітка, як на Рисунку 1.2. Тенденція на Рисунку 1.3 добре видно, і точки не так розсіяні, як на Рис. 2.1 і 2.2. Тобто, чим вище кореляція в будь-якому напрямку (позитивна чи негативна), тим більш лінійний зв'язок між двома змінними та очевиднішим буде тенденція на діаграмі розсіювання. Для Рисунках 3 і 4 сила лінійного зв'язку однакова для

розглянутих змінних, але напрямок відрізняється. На Рисунку 3 значення y зростають із збільшенням значень x , тоді як на Рисунку 4 значення y зменшуються зі збільшенням значень x .

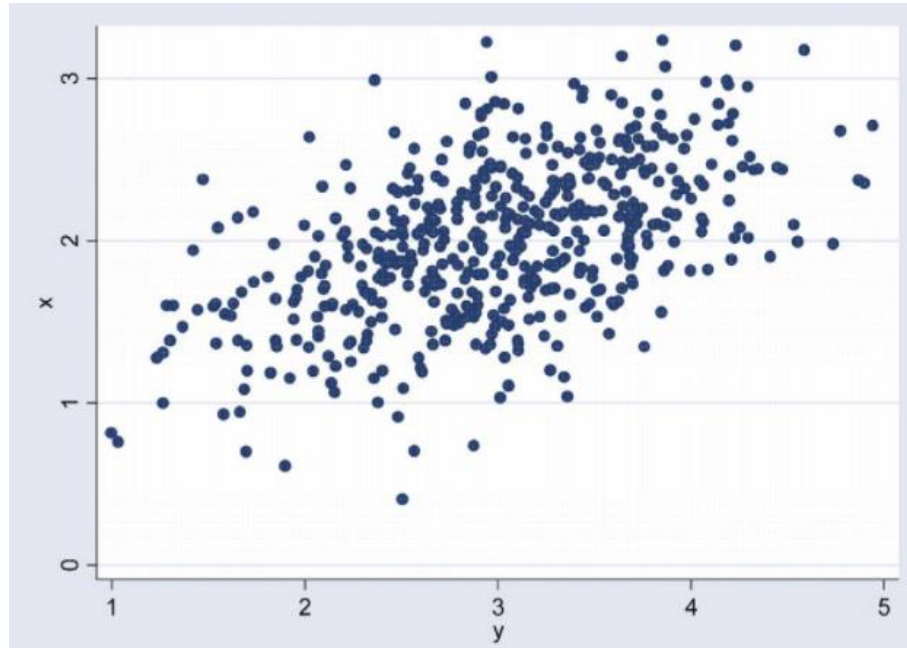


Рисунок 2.3 - Графік кореляції

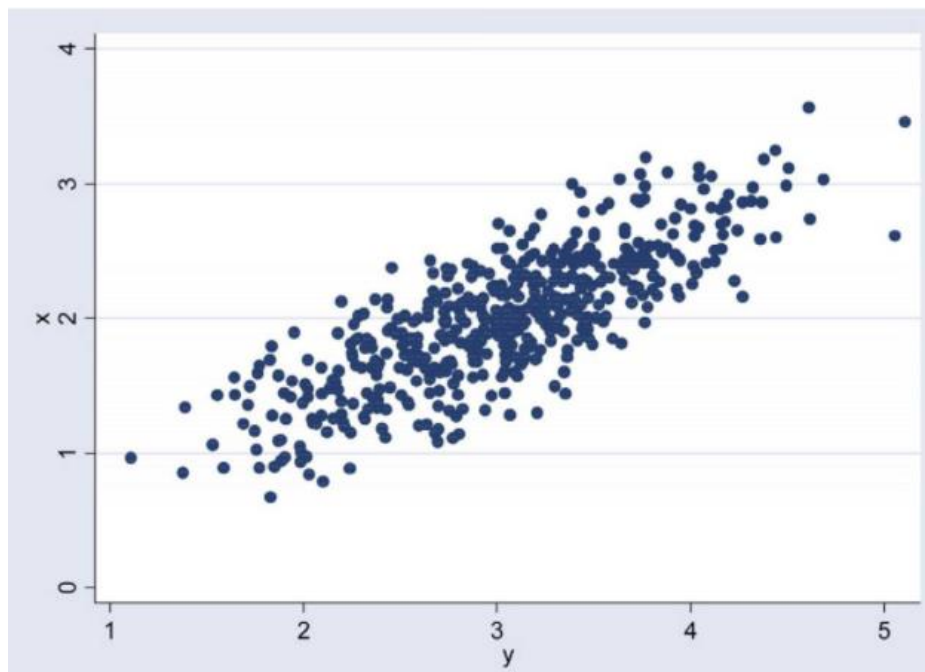


Рисунок 2.4 - Графік кореляції

Просте застосування коефіцієнта кореляції можна продемонструвати, використовуючи дані вибірки з 780 вуликів. Ми можемо очікувати позитивну лінійну залежність між кількістю пчіл і вагою виготовленого меду, оскільки вага збільшується з ростом бджолиних сімей у вулику, але ми не можемо передбачити силу цього зв'язку. Завдання полягає в кількісній оцінці сили асоціації. Тобто нас цікавить сила зв'язку між двома змінними, а не напрямок, оскільки напрямок у цьому випадку очевидний. З цими шкалами вимірювання даних, відповідним коефіцієнтом кореляції для використання є коефіцієнт Спірмена. Для цих даних коефіцієнт Спірмена становить 0,84. У цьому випадку кількість бджіл сильно корелює з масою отриманого меду, тобто має високу позитивну кореляцію (табл. 1). Коефіцієнт кореляції Пірсона для цих змінних становить 0,80. У цьому випадку два коефіцієнти кореляції подібні і призводять до одного висновку, однак у деяких випадках вони можуть сильно відрізнятись, що призводить до різних статистичних висновків. Наприклад, у тій же групі бджіл кореляція Спірмена між рівнем вуглекислого газу та масою меду становить 0,3, а кореляція Пірсона — 0,2. У цьому випадку два коефіцієнти можуть призвести до різних статистичних висновків. Наприклад, коефіцієнт кореляції 0,2 вважається незначною кореляцією, тоді як коефіцієнт кореляції 0,3 вважається низькою позитивною кореляцією (Таблиця 2.1), тому було б важливо використовувати найбільш підходящий. Найбільш підходящим коефіцієнтом у цьому випадку є коефіцієнт Спірмена.

Таблиця 2.1 - Інтерпретація значень кореляції

Розмір кореляції	Інтерпретація
0.90 до 1.00 (-.90 до -1.00)	Дуже висока позитивна (негативна) кореляція
0.70 до 0.90 (-.70 до -.90)	Висока позитивна (негативна) кореляція
0.50 до 0.70 (-.50 до -.70)	Помірна позитивна (негативна) кореляція

0.30 до 0.50 (-.30 до -.50)	Низька позитивна (негативна) кореляція
0.00 до 0.30 (0.00 до -.30)	незначна кореляція

Причина полягала в тому, щоб зробити змінні нормально розподіленими, щоб ми могли використовувати коефіцієнт кореляції Пірсона. Потім ми проаналізували дані для лінійної зв'язку між журналом кількості (countlog) і ваги меду (wlog). Обидві змінні приблизно нормально розподілені на логарифмічній шкалі. У цьому випадку більш доцільним є коефіцієнт кореляції Пірсона. Коефіцієнт 0,184. Це показує, що існує незначна кореляція між кількістю і вагою меду на логарифмічній шкалі (Таблиця 2.1).

На рис. 5 картина змінюється при вищих значеннях парності. Таблиця 2.2 показує, як змінюються коефіцієнти кореляції Спірмена та Пірсона, якщо виключено сім вуликів із вищими значеннями маси меду. Якщо виключити сім вищих значень парності, коефіцієнт кореляції Пірсона істотно змінюється порівняно з коефіцієнтом кореляції Спірмена. Хоча різниця в коефіцієнті кореляції Пірсона до і після виключення викидів не є статистично значущою, інтерпретація може відрізнитися. Коефіцієнт кореляції 0,2 до виключення викидів розглядається як мізерна кореляція, тоді як 0,3 після виключення викидів можна інтерпретувати як слабку позитивну кореляцію (табл. 2.1). Інтерпретація кореляції Спірмена залишається незмінною до і після виключення викидів з коефіцієнтом кореляції 0,3. Різниця у зміні коефіцієнтів Спірмена і Пірсона, коли виключені викиди, є важливим моментом у виборі відповідної статистики. Ненормально розподілені дані можуть включати значення викидів, які вимагають використання коефіцієнта кореляції Спірмена.

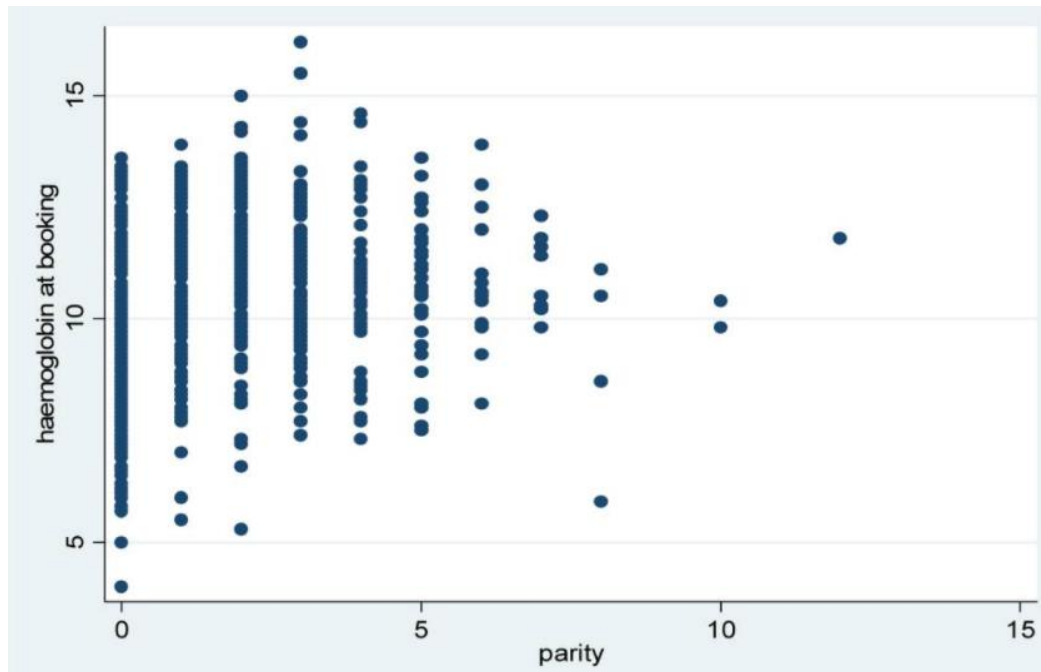


Рисунок 2.5 - Графік кореляції

Таблиця 2.2 - Порівняння Спірмена та Пірсона

Статистика	Екстремальні значення включені		Екстремальні значення видалено	
	n	r	n	r
Спірмена	783	0.3	776	0.3
Пірсона	783	0.2	776	0.3

2.2.2 Застосування кореляції для пріоритетизації вимірювальних показників

Логіка методу кореляції у апаратно-програмному комплексі.

Пасічник фіксує у мобільному забезпеченні загальну продуктивність пасіки - вагу отриманого меду, та визначає період.

Наступним кроком система порівнює кожен з чотирьох факторів з продуктивністю, а точніше їх коефіцієнти кореляції.

Далі система визначає пріоритету кожному з показників в залежності від значення коефіцієнту кореляції.

У наступній таблиці наведено приклад розрахунку коефіцієнту кореляції. Розрахунок сили залежності Вологості між кількістю отриманого меду з кожного окремого вулика. Дані взяті усереднені на основі реальних статистичних показників, для наглядної демонстрації роботи методу кореляції на вибірці.

Отриманий результат - 0,83 свідчить про високу залежність показників один від одного. Вологість отримує високий пріоритет.

Наступними кроками є порівняння наступних трьох показників із отриманою вагою меду. Далі кожен з коефіцієнтів кореляції порівнюється один з одним та їм присвоюються оновлювані пріоритети (Таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Вибірка даних та розрахунок коеф. кореляції

№	Вологість %	Мед кг	Коеф. Кореляції
1	35	16	
2	37	15	
3	38	14	
4	47	12	
5	46	12	
6	45	12	
7	39	14	
8	32	17	
9	34	13	
10	37	14	-0,832543496

2.3 Проектування архітектури системи

Архітектура апаратно-програмного комплексу виглядає наступним чином: 1) апаратний комплекс с датчиками; 2) gprs модем для з'єднання з Інтернет; 3) сервер; 4) база даних; 5) веб сайт; 6) мобільне забезпечення (Рисунок 2.6).

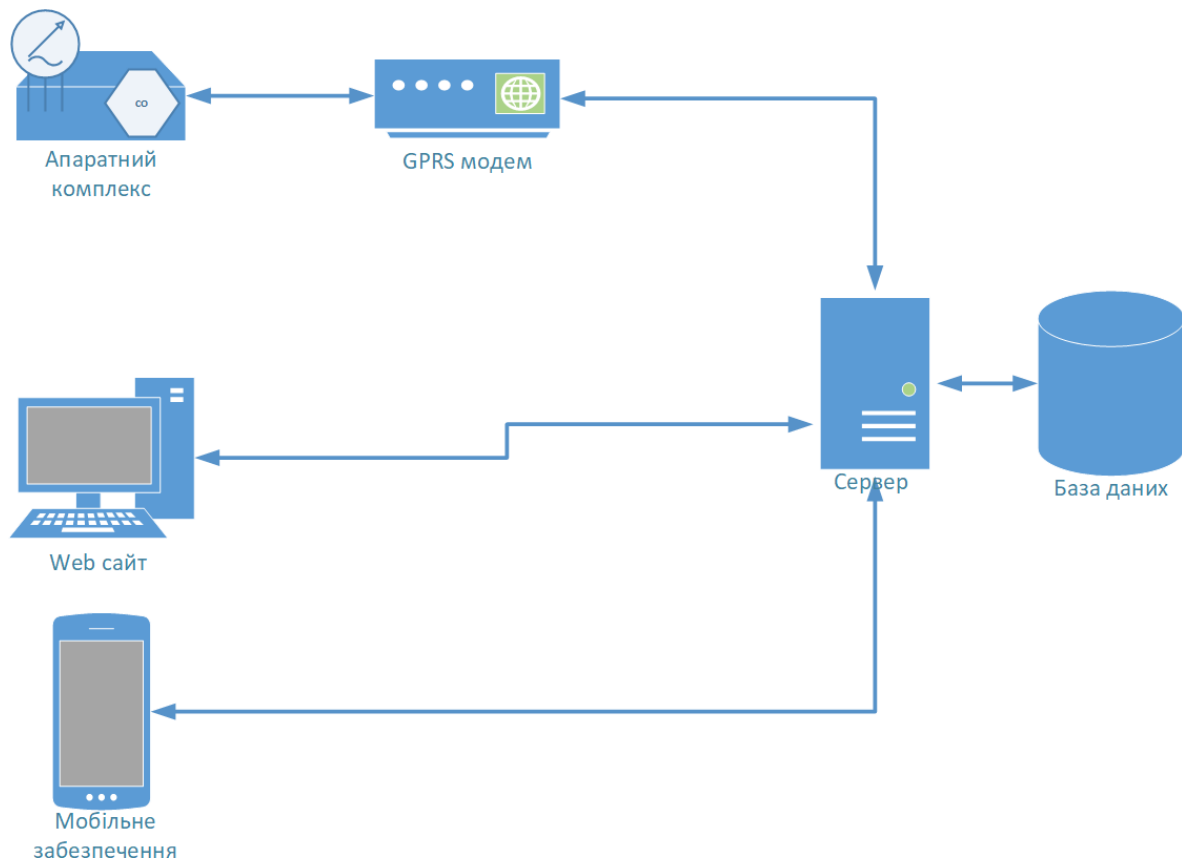


Рисунок 2.6 - Схема архітектури системи

2.4 Проектування бази даних

Для програмно-апаратного комплексу спроектовано реляційну базу даних [16-17]. База даних складається з 4 таблиць: 1) Nive - вулик, основна таблиця, містить усі дані пов'язані з вуликами; 2) user - дані користувача,

пароль та логін; 3) sensor - зберігає усі покази датчиків; 4) statistic - окрема таблиця зберігання статистики та коефіцієнту кореляції (Рисунок 2.7)

Опис Таблиці Hive (Таблиця 2.4):

Таблиця 2.4 - Опис таблиці Hive

Назва поля	Тип і формат	Обмеження	Опис поля
id	Int (10)	PK	Айді вулику
user_id	Int (10)	FK	
sensor_id	Int (10)	FK	
statistic_id	Int (10)	FK	
name	Char (20)		Назва пасіки
quantity	Int (999)		Кількість
date_start	Date	Date	Стартова дата сезону

Опис Таблиці Sensor (Таблиця 2.5):

Таблиця 2.5 - Опис таблиці Sensor

Назва поля	Тип і формат	Обмеження	Опис поля
id	Int (10)	PK	Айді датчику
hive_id	Int (10)		
temperature	Float		Значення температури
carbon_dioxide	Float		Значение Co2
noise	Float		Значення рівня шуму
humidity	Float		Значення вологості

Опис Таблиці Statistic (Таблиця 2.6):

Таблиця 2.6 - Опис таблиці Statistic

Назва поля	Тип і формат	Обмеження	Опис поля
id	Int (10)	PK	Айді статистики
hive_id	Int (10)		
bees_type	Char (30)		Вид бджіл
bees_quantity	Int (10)		Кількість бджіл
date_period	Date		Період
honey_kilo	Float		Вага добутого меду
correlation	Float		Коеф кореляції

Опис Таблиці User (Таблиця 2.7):

Таблиця 2.7 - Опис таблиці User

Назва поля	Тип і формат	Обмеження	Опис поля
id	Int (10)	PK	
login	Char (20)		
password	Char (20)		

PostgreSQL

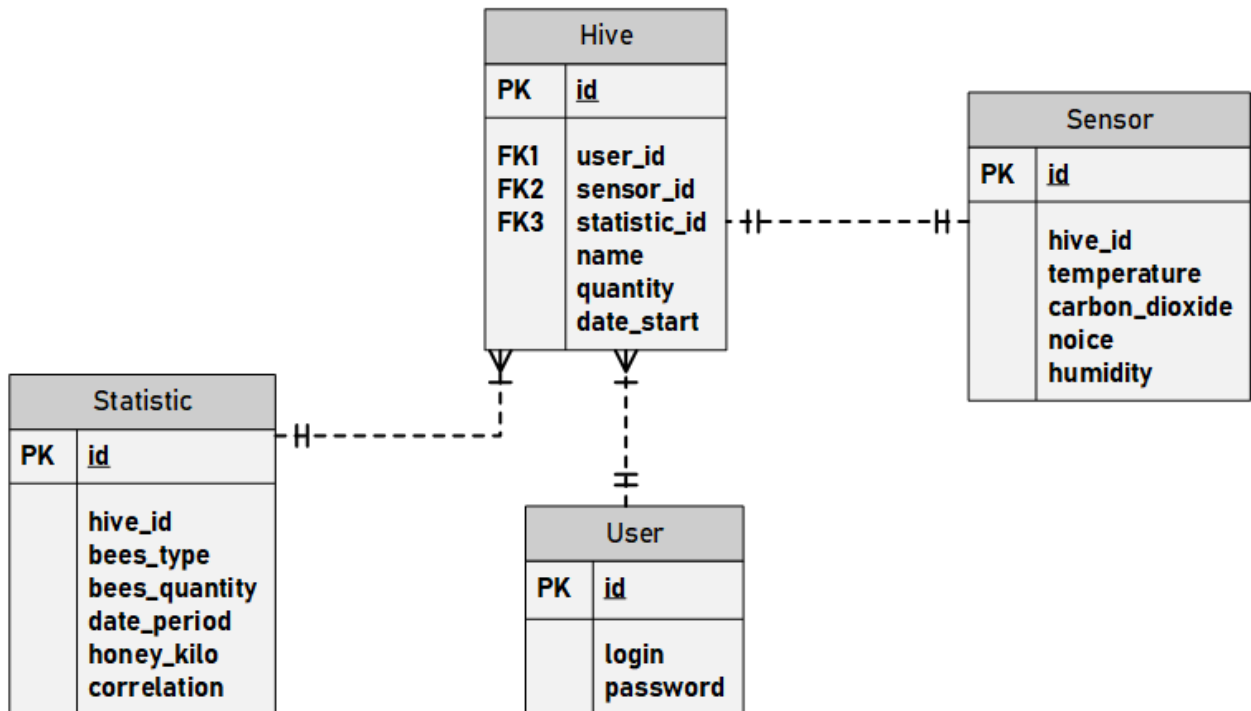


Рисунок 2.7 - Схема бази даних

2.5 Реалізація апаратного комплексу

Необхідні комплектуючі [18]:

- 1) Контроллер – arduino uno u3
- 2) Esp8266 – wifi модуль
- 3) Dht11 - датчик вологості та температури
- 4) Mq-135 - датчик вуглекислого газу
- 5) Ку-037 - датчик звуку.
- 6) Аккумулятор - 9V.
- 7) gsm модуль

Апаратно-програмний комплекс передає одержані дані до Web серверу через GET запити.

Flutter – розробка моб. програми для моніторингу.

2.5.1 Схема програмно-апаратного комплексу

Проілюстрована схема прототипу апаратного комплексу. Розміщено усі комплектуючі системи: 1) контролер Arduino uno 3; 2) датчик для виміру рівня шуму; 3) датчик виміру вологості та температури; 4) датчик Co2; 5) wi-fi модуль; 6) акумулятор 9V. Рисунок 2.8.

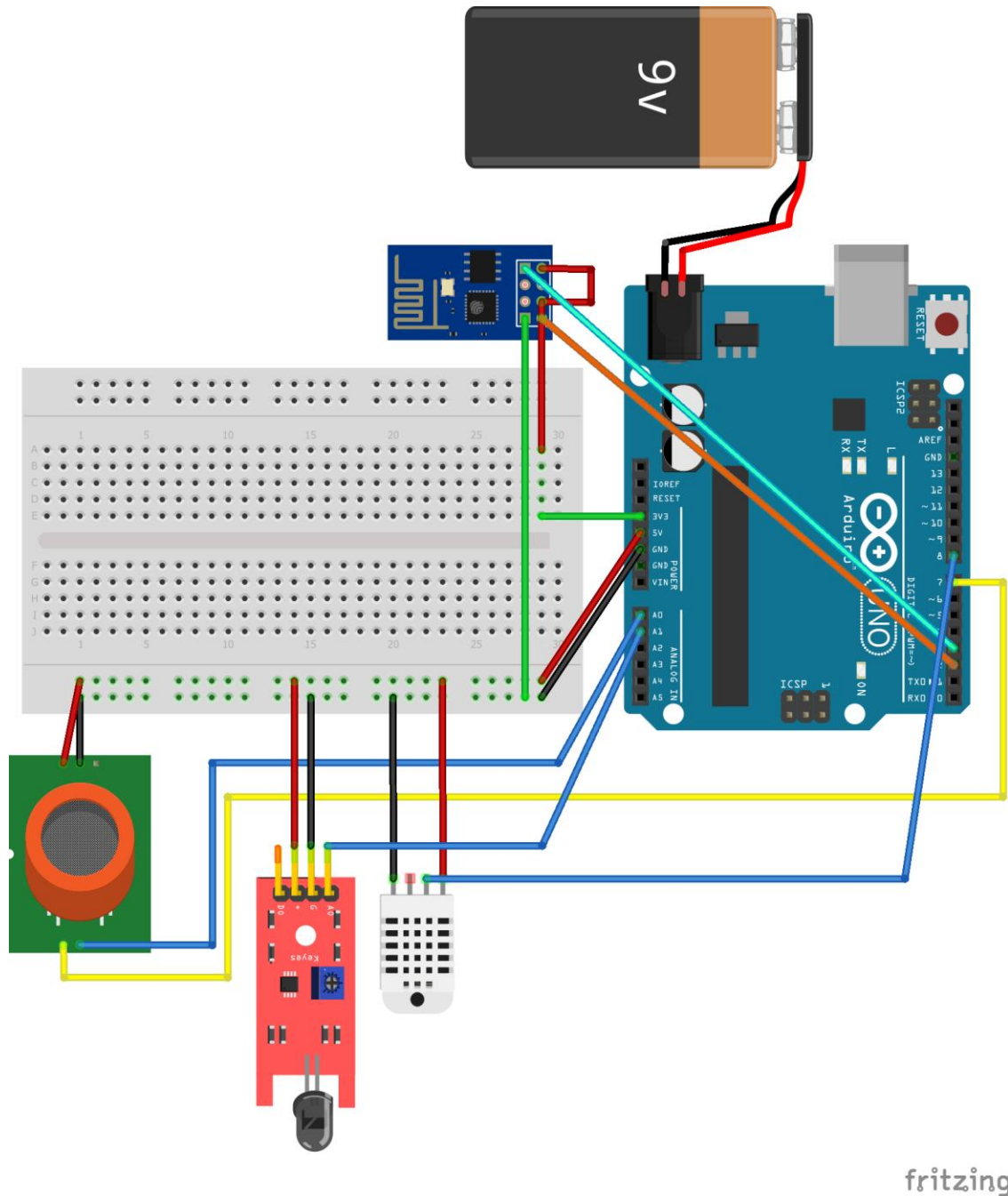


Рисунок 2.8 - Схема апаратно-програмного комплексу

2.5.2 Компонентна схема апаратної системи

На комплексній схемі апаратної системи на мові моделювання UML продемонстровано розбиття системи на компоненти та зв'язки між ними.

Рисунок 2.9.

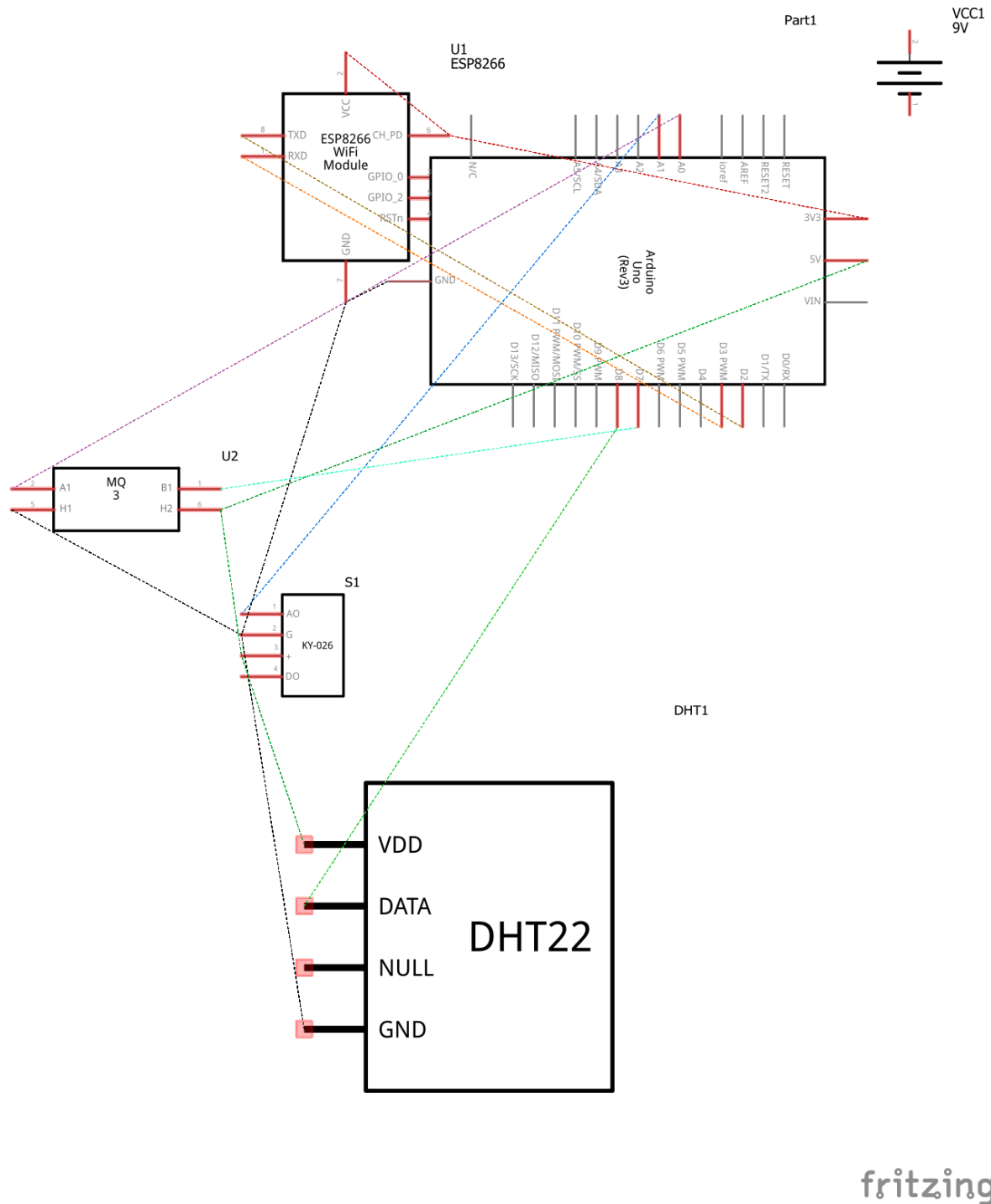
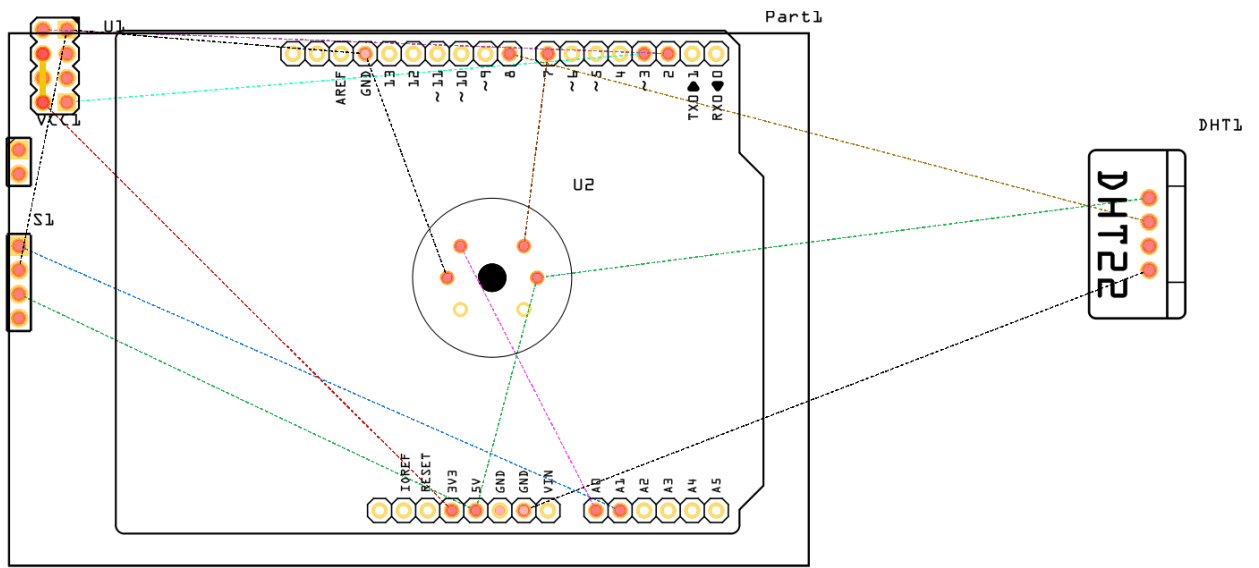


Рисунок 2.9 - Компонентна схема

2.5.3 Друкована плата

Продемонстрована схема друкованої плати апаратної системи Рисунок 2.10.



fritzing

Рисунок 2.10 - Друкована плата

2.6 Реалізація мобільного забезпечення

Дизайн та макет мобільного забезпечення розроблено у Figma.

Реалізовано мобільне забезпечення у Flutter, мова - Dart [19]. Код у Додатку А.

Стартове вікно мобільного забезпечення Рисунок 2.11:



Рисунок 2.11 - Стартовий екран

Екран авторизації користувача мобільного забезпечення у якому користувач вводить наданий логін та пароль, Рисунок 2.12:

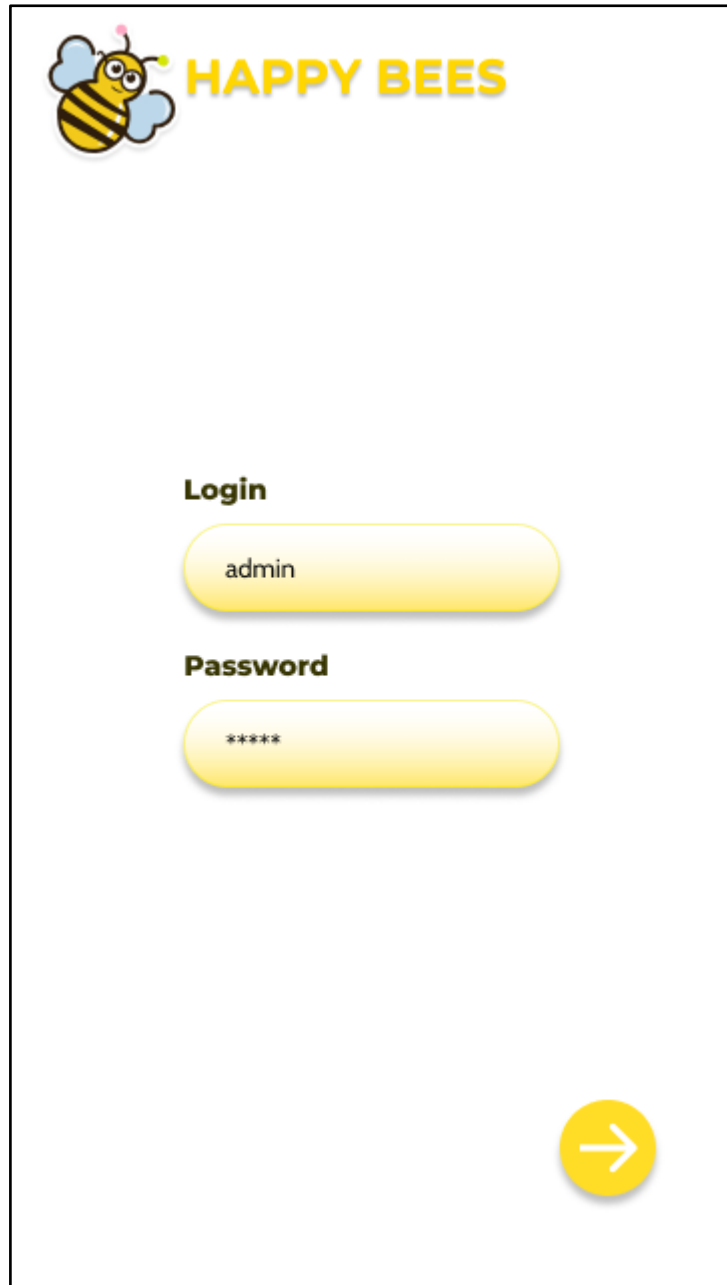


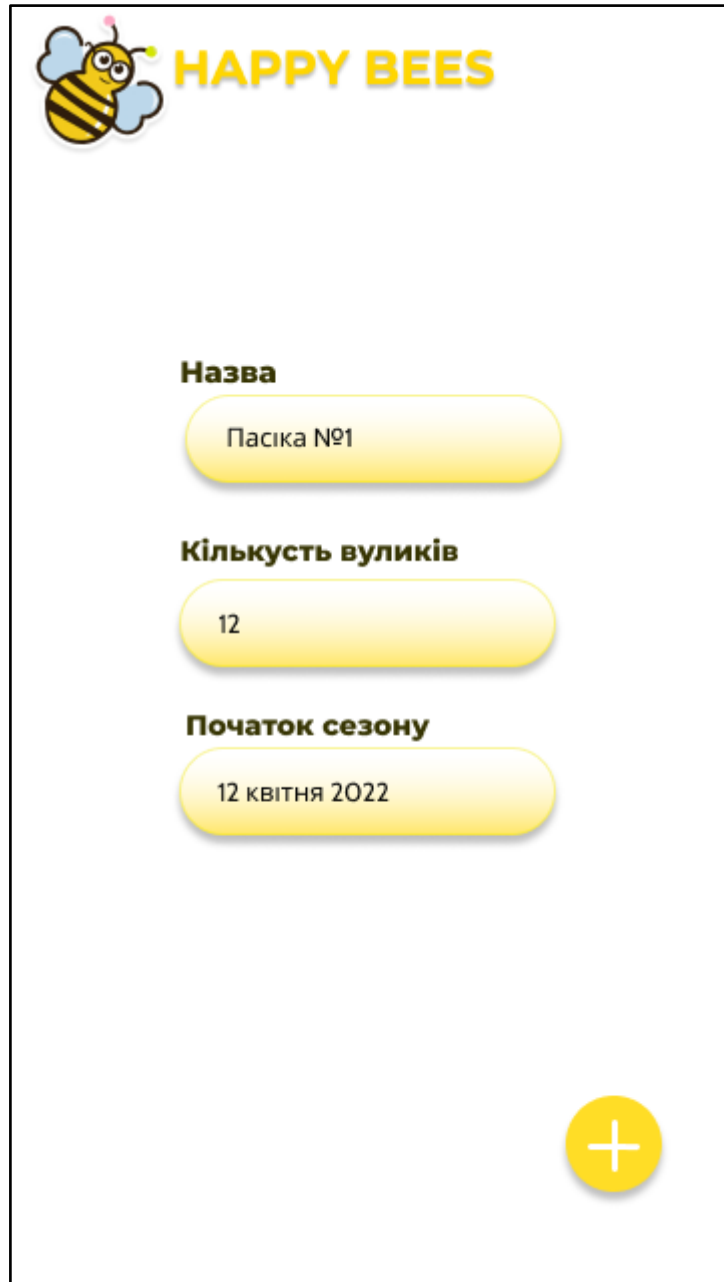
Рисунок 2.12 - Екран логіну

Екран вибору та створення пасіки мобільного забезпечення, на якому відображаються налаштовані пасіки та пропонується додати нову Рисунок 2.13:



Рисунок 2.13 - Екран вибору та створення пасік

Екран налаштування пасіки мобільного забезпечення, на якому користувач вводить назву пасіки, кількість вуликів та дату початку сезону
Рисунок 2.14:



The screenshot shows a mobile application interface for setting up a beehive. At the top left, there is a cartoon bee icon and the text "HAPPY BEES" in yellow. Below this, there are three input fields, each with a label and a yellow rounded button containing the entered text:

- Назва** (Name): Пасіка №1
- Кількість вуликів** (Number of hives): 12
- Початок сезону** (Start of season): 12 квітня 2022

In the bottom right corner, there is a yellow circular button with a white plus sign (+).

Рисунок 2.14 - Екран створення пасіки

Екран з відображенням вуликів та даними з датчиків для кожного з них, після розрахунку коефіцієнта кореляції також позначаються пріоритети факторів впливу. Рисунок 2.15.

:

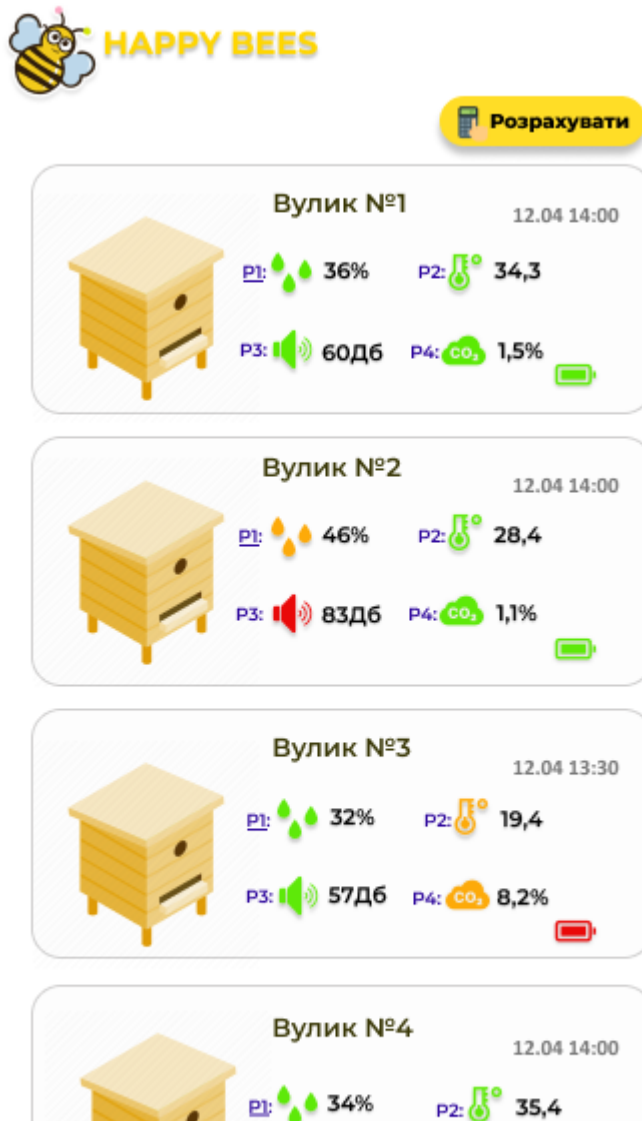


Рисунок 2.15 - Екран зі статистикою вуликів

Екран вводу даних налаштування підрахунку кореляції. Користувач вводить вид бджіл (для подальшої класифікації), кількість бджіл у вулику, період, та масу меду з одного вулику. Рисунок 2.16.



Розрахунок пріорітетності кліматичних показників

Вид бджіл

Карпатська

Кількість бджіл

25500

Період

01.06.21 - 01.03.22

Об'єм меду, кг

40



Рисунок 2.16 - Екран розрахунку кореляції

Екран з графічно відображеною статистикою окремого вулика, на якому візуалізовані статистичні дані за певний період. Рисунок 2.17.

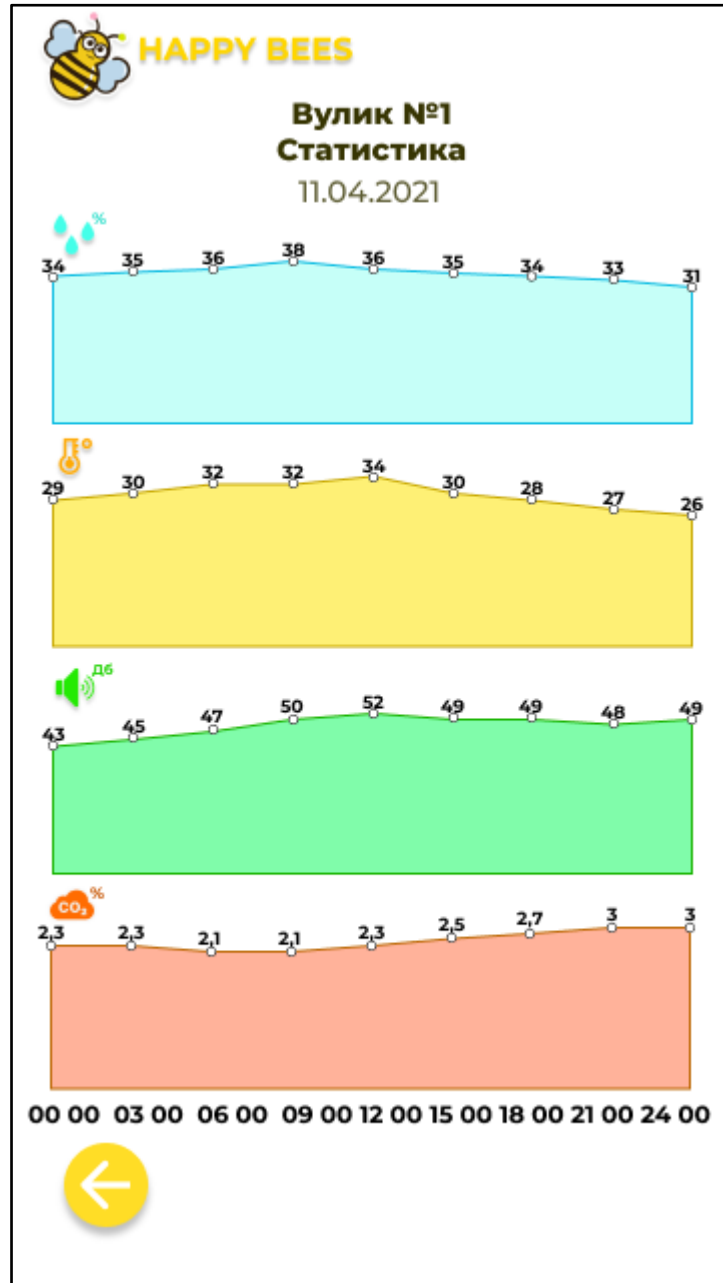


Рисунок 2.17 - Екран зі статистикою

Інформаційні сповіщення користувача мобільного забезпечення. У першому випадку користувача сповіщає система про розрядження приладу Рисунок 2.18. У другому випадку проілюстровано оповіщення про те, що рівень шуму у вулику перевищено Рисунок 2.19.

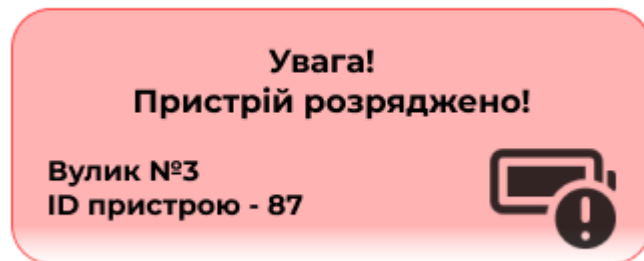


Рисунок 2.18 - Оповіщення про розрядження приладу

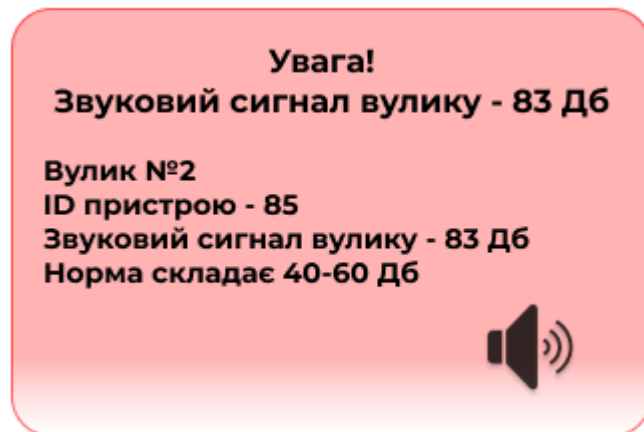


Рисунок 2.19 - Оповіщення про рівень шуму

2.7 Реалізація Веб серверу

HTTP - це протокол рівня додатків (високого рівня) передачі гіпертекстових документів.

Текстову інформацію розбито на фрагменти. Між ними існують видимі посилання, якими можна переходити від фрагмента до фрагмента. Отже протокол HTTP забезпечує перегляд тексту, організованого таким чином.

Швидше, це застаріле визначення HTTP. Зараз цим протоколом передається не тільки текстова, а практично будь-яка інформація, в тому числі картинки і фільми. Правильніше сказати, що це протокол передачі гіпермедіа даних.

В даний час HTTP використовується сервісом World Wide Web для отримання інформації з WEB-сайтів. На ваш комп'ютер інформація з сайтів інтернету потрапляє саме через цей протокол. HTTP працює за технологією клієнт-сервер. Клієнт надсилає запит і отримує у відповідь інформацію із сервера. У нашому випадку:

клієнтом є WEB-браузер на комп'ютері;

сервером – плата Ардуїно з мережевим Ethernet-модулем.

Запит формуватиме браузер, відповідатиме – віддалений сервер.

HTTP – протокол рівня додатків, тобто. програма на комп'ютері (веб-браузер) обмінюється даними з програмою на віддаленому сервері (у нашому випадку з резидентною програмою Ардуїно).

Обмін даними відбувається через з'єднання TCP.

Для створення WEB-сервера немає спеціальних функцій бібліотеки. Ми будемо встановлювати TCP-з'єднання та через нього передавати дані у форматі HTTP.

Основний об'єкт для HTTP протоколу – це ресурс (URI – Uniform Resource Identifier), який задається у запиті клієнта. Зазвичай ресурсом є файли, розташовані на сервері, але може бути будь-що, навіть щось

абстрактне. Для ідентифікації ресурсів застосовуються світові ідентифікатори URI, тобто. адреси Інтернету.

Стандартним портом для HTTP є порт 80.

Сама текстова інформація зазвичай передається мовою гіпертекстової розмітки HTML.

Структура протоколу.

Клієнт та сервер обмінюються повідомленнями – блоками даних.

У загальному вигляді обмін інформацією відбувається так:

клієнт встановлює із сервером TCP-з'єднання;

посилає на сервер повідомлення-запит;

у відповідь отримує повідомлення-відповідь;

далі TCP-з'єднання може бути розірвано або чекати на нові блоки даних.

Кожне повідомлення складається з трьох частин:

Стартовий рядок – визначає тип повідомлення.

Заголовки – дають серверу додаткову інформацію про запит, клієнта, параметри обміну та інші технічні відомості.

Тіло повідомлення – власне дані, інформація. Тіло заголовка має обов'язково відокремлюватися від попередніх частин порожнім рядком.

Тіло повідомлення може бути відсутнє, особливо, у запиті клієнта. А стартовий рядок та заголовки повинні бути присутніми у будь-якому повідомленні.

Метод – тип запиту.

URI – ідентифікатор ресурсу. Визначає шлях до запитуваного файлу.

Версія – розділені крапкою цифри.

У нашому випадку: GET/HTTP/1.1

GET – метод - URI. Ми звернулися до сервера без зазначення додаткових ідентифікаторів ресурсу, тобто. просто на адресу 192.168.1.10.

HTTP/1.1 – версія HTTP.

Методи.

Методи це команди сервера. Вони повідомляють серверу, що він має робити. Складаються з будь-яких символів, крім керуючих та роздільників. Методи чутливі до регістру. Система може використовувати будь-які методи навіть не документовані в протоколі. Якщо сервер не розпізнав зазначений метод, він повинен повернути код стану 501. Якщо метод відомий, але не може бути застосований до зазначеного ресурсу, то код 405 повертається. Будь-який сервер повинен обробляти способи GET і HEAD.

GET Застосовується для запиту вмісту ресурсу. GET-запит може запустити будь-який процес на сервері, інформації про хід виконання якого зазвичай передається в повідомленні у відповідь.

Через GET запити клієнт може передавати параметри. Параметри відокремляються від URI символом “?”. Параметри поділяються символом “&”.

GET /path/resource?parameter1=value1& parameter2=value2 HTTP/1.1

HEAD Дія подібна до методу GET, за винятком того, що у відповіді відсутнє тіло повідомлення.

POST Використовується для передачі даних ресурсу. Наприклад, коментарі до записів сайту або заповнення реєстраційних форм. Користувач вводить текст у вікні браузера, дані передаються на сервер та зберігаються там. Також за допомогою POST-методу на сервер завантажуються файли. Дані, що передаються методом POST, включаються в тіло запиту.

Веб Сервер:

```
GET http://www.php.net/ HTTP/1.0\r\n\r\n
```

```
http://www.php.net/ - URI серверу
```

```
HTTP/1.0 - версія протоколу
```

```
GET /add.php?k=asREb25C&t=24.00&h=35.00 HTTP/1.1
```

```
Host: site.ua
```

```
Connection: close
```

```
void sensor(int p1, int rb) {
```

```
    client.connect(server, 80);
```

```
    client.print("GET /add.php?");
```



```
client.print("k=");
client.print("&");
client.print("p1=");
client.print(p1);
client.print("&");
client.print("rb=");
client.print(rb);
client.print("&");
client.print("ram=");
client.print(freeRam());
client.println(" HTTP/1.1");
client.print("Host: ");
client.println(server);
client.println("Connection: close");
client.println();
client.println();
client.stop();
client.flush();
}
```

На Рисунку 2.20 зображено візуалізацію даних температури та вологості у вулику - графік:



Рисунок 2.20 - Графік на Веб сервері

3 ТЕСТУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СИСТЕМИ

3.1 Перспективи розробки

Головною перспективою апаратно-програмного комплексу є розвиток IoT - надати можливість усім пасічникам, споживачам меду, функціонерам та дослідникам моніторити та зберігати дані та їх вплив на фізіологію бджіл та їх продуктивність.

Апаратно-програмний комплекс дозволить дослідникам з усього світу збирати свіжу та об'ємну статистику щодо процесів життєдіяльності бджолиних сімей.

Варто відзначити, що зі збільшенням об'єму використання даного апаратно-програмного комплексу зростатиме і вибірка даних. Отримані вибірки даних будуть з різних географічних та кліматичних регіонів, з різними видами та підвидами бджіл, яких нараховується більше 20000. Зібрана статистика, велика вибірка даних дозволить дослідити фізіологічні особливості бджіл в залежності від різних показників клімату.

Завдяки великому обсягу інформації дослідники з усього світу класифікуватимуть бджіл в окремі родини та підродини по їх кліматичним пристосуванням, особливостям та продуктивності. Що дозволить максимально раціонально обирати той чи інший вид бджіл для заселення на певних географічних територіях.

3.2 Моделювання

До апаратного пристрою спроектовано та вироблено спеціальний пластиковий кейс, що захистить перший прототип на базі Arduino Uno від механічних пошкоджень всередині бджолиного вулику.

3-D модель пластикового кейсу спроектовано у програмному забезпеченні - FreeCad.

Проектування пластикового кейсу на Рисунках 3.1-3:

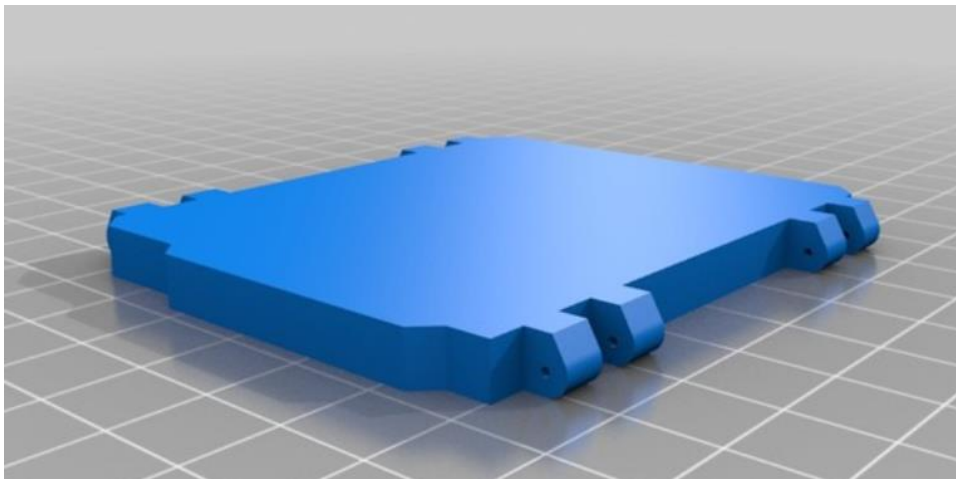


Рисунок 3.1 - Модель верхньої кришки

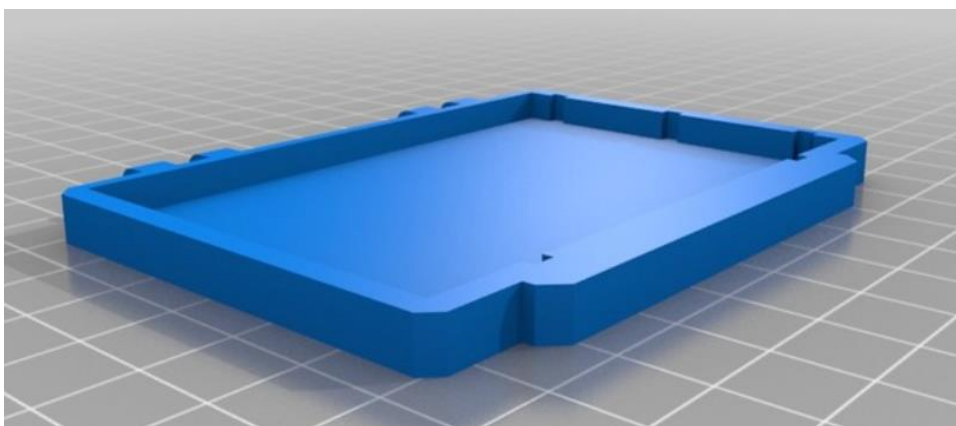


Рисунок 3.2 - Модель нижньої кришки

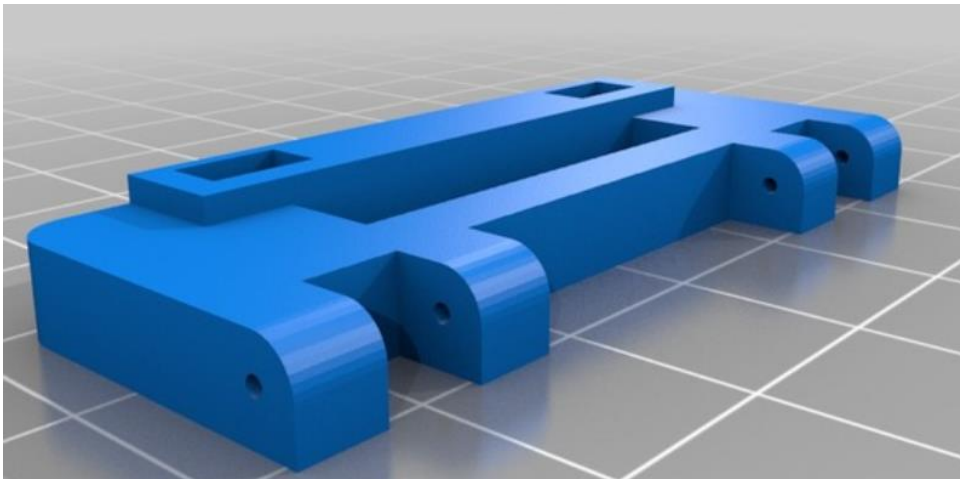


Рисунок 3.3 - Модель з'єднувача

Наглядна демонстрація кейсу, який поміщає у себе датчики, контролер та плата розширеного прототипування зображені на Рисунках 3.4-5.

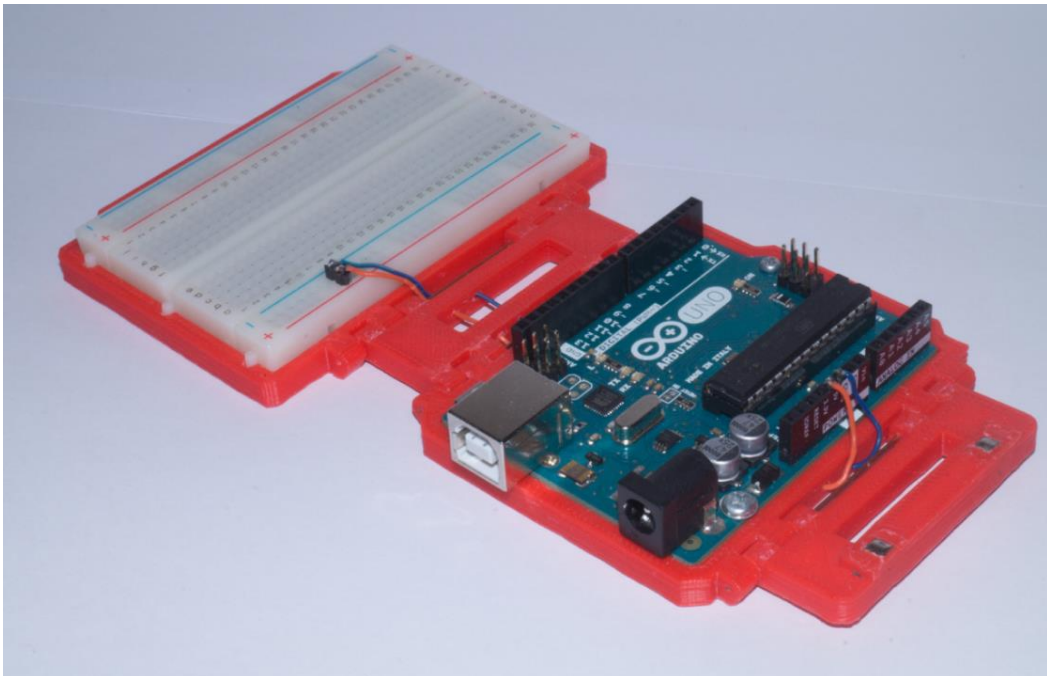


Рисунок 3.4 - Фото кейса взборі



Рисунок 3.5 - Фото кейса взборі

Особливості: Деталі мають зазор приблизно 0,5 мм, щоб урахувати деяку неточність друку. Після друку просвердлити отвори, позначені на стороні Arduino для кріплення Arduino гвинти 2,5 мм). Для петель використовується дрiт діаметром 1 мм (наприклад, скріпки).

3.3 Визначення бізнес-вимог

Апаратно-програмний комплекс для дослідження стану бджолиних вуликів в реальному часі забезпечує можливості:

- 1) для пасічників – в режимі реального часу отримувати дані про стан кліматичних показників всередині вуликів;
- 2) для науковців та дослідників – отримувати великі дані та реальну статистику бджолиних вуликів;
- 3) для споживачів – апаратно-програмний комплекс у перспективі надаватиме споживачам можливість моніторити за яких умов виготовляється їх майбутній мед, Internet of Thin

3.4 Тестування

На останньому етапі розробки апаратно-програмного продукту, має бути проведено тестування для визначення і усунення можливих помилок. Тестування апаратно-програмного забезпечення - процес дослідження, випробування продукту, який має на меті перевірку відповідності між реальною поведінкою і її очікуваним поведінкою на кінцевому наборі тестів, обраних певним чином.

У першому тест-кейсі (Таблиця 3.1) розглянуто весь загальний функціонал апаратно-програмного комплексу.

Сценарій тестування:

Таблиця 3.1 - Тест-кейс загального функціоналу

№	Сценарій	Очікувана реакція	Мета проведення тесту
1	Увімкнути апаратну систему	Отримати повідомлення від Веб сайту/мобільного забезпечення про під'єднання апарат. сис.	Переконатися, що апаратна система успішно приєдналася до Інтернет та зв'язалася з сервером
2	Відкрити у мобільному забезпеченні вікно з пасікою	У мобільному забезпеченні успішно відображається пасіка користувача	Переконатися, що мобільне забезпечення коректно працює
3	Подивитися дані по кожному з вуликів	У мобільному забезпеченні успішно відображаються дані по вуликам	Переконатися, що датчики успішно передають дані з вуликів до серверу
4	Ввести дані для	Система успішно	

	кореляції	виражує кореляцію та оновить пріоритети для усіх факторів	
5	Відкрити сторінку з графіками моніторингу кліматичних факторів	Система успішно відображає графіки з даними по вулику	Переконався, що система успішно формує графіки
6	Отримати інформаційне повідомлення при НП	Система успішно надсилає повідомлення при НП	Переконався, що система моніторить показники датчиків

Результати тестування Таблица 3.2:

Таблица 3.2 - Таблица з результатами проходження тест-кейсу

№	Сценарій	Результат
1	Увімкнути апаратну систему	Пристрій зв'язався з сервером
2	Відкрити у мобільному забезпеченні вікно з пасікою	Пасіка коректно відображається
3	Подивитися дані по кожному з вуликів	Дані по вуликам відображаються
4	Ввести дані для кореляції	Кореляція успішно вірахована, з'явилися пріоритети
5	Відкрити сторінку з графіками моніторингу кліматичних факторів	Графіки успішно відображаються
6	Отримати інформаційне повідомлення при НП	Інформаційне повідомлення отримано

Другий тест-кейс (Таблиця 3.3) розроблений для тестування коректної роботи розрахунку пріоритетності кліматичних умов, тобто методу кореляції.

Сценарій тестування:

Таблиця 3.3 - Тест-кейс кореляції

№	Сценарій	Очікувана реакція	Мета проведення тесту
1	Увійти в мобільне забезпечення та перейти до моніторингу вуликів	Мобільне забезпечення функціонує і коректно відображає дані	Переконалися, що мобільне забезпечення функціонує
2	Натиснути на кнопку “Розрахувати”	Екран з розрахунку кореляції відривається	Переконалися, що екран розрахунку кореляції функціонує
3	Заповнити усі необхідні поля	Поля необхідні для розрахунку кореляції функціонують	Переконалися, що поля функціонують
4	Перевірити чи з’явилися пріоритети по кожному з показників вуликів	Система успішно вирахує кореляцію та оновить пріоритети для усіх показників	Переконалися, що система успішно вирахувала кореляцію

Результати тестування Таблиця 3.4:

Таблиця 3.4 - Результат виконання тест-кейсу

№	Сценарій	Результат
1	Увійти в мобільне забезпечення та перейти до моніторингу вуликів	Мобільне забезпечення функціонує коректно
2	Натиснути на кнопку “Розрахувати”	Екран розрахунки кореляції функціонує
3	Заповнити усі необхідні поля	Поля необхідні для кореляції функціонують
4	Перевірити чи з’явилися пріоритети по кожному з показників вуликів	Вираховані пріоритети для кожного зі кліматичних значень вуликів

3.5 Апробація

Головною задачею апаратно-програмного комплексу є надати можливість моніторити в режимі реального часу стан бджолиних вуликів за основними чотирма показниками, та підвищити продуктивність бджолиних сімей.

Було проведено опитування серед пасічників України, чи вважають вони таку систему корисною та перспективною. Були наступні запитання: 1) Чи вважаєте ви корисним апаратно-програмний комплекс; 2) хотіли би ви протестувати дану систему; 3) у скільки балів за 5-ти бальною шкалою оціните ваш юзерспірієнс від мобільного забезпечення.

Усього в опитуванні прийняло участь 15 пасічників у Facebook. Результати у діаграмі.

Чи вважаєте ви корисним апаратно-програмний комплекс? Результат: 14 - "Так", 1 - "Ні". Рисунок 3.6.

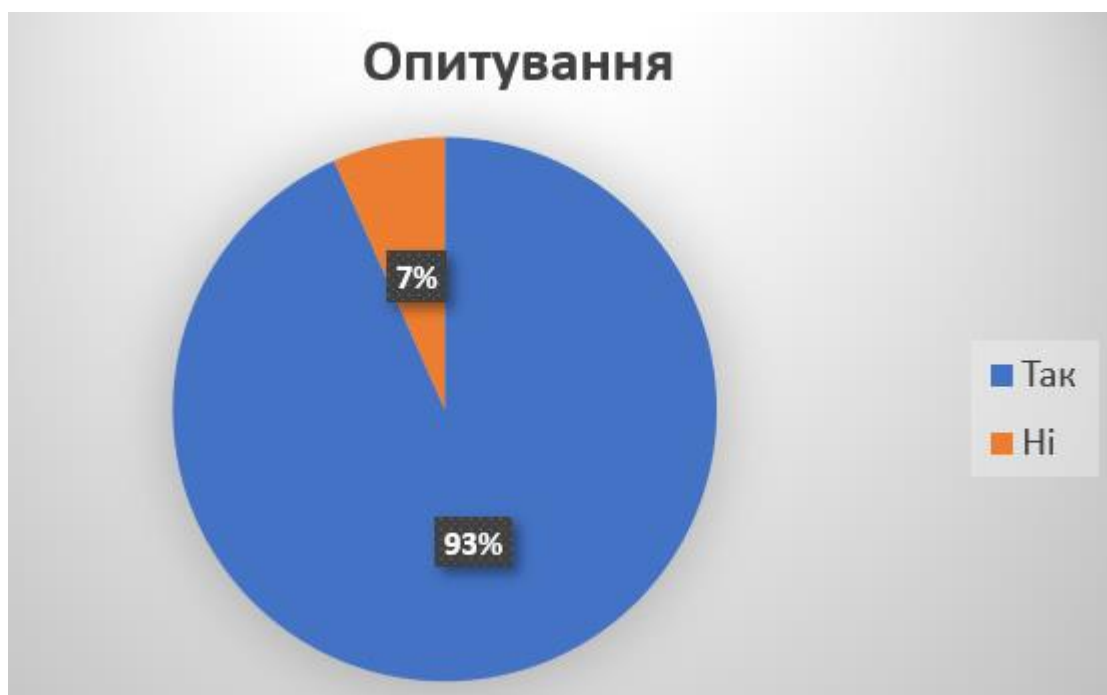


Рисунок 3.6 - Діаграма результату опитування

Хотіли би ви протестувати дану систему? Результат: 12 - “Так, протестую”, 3 - “Ні, не маю бажання”. Рисунок 3.7.

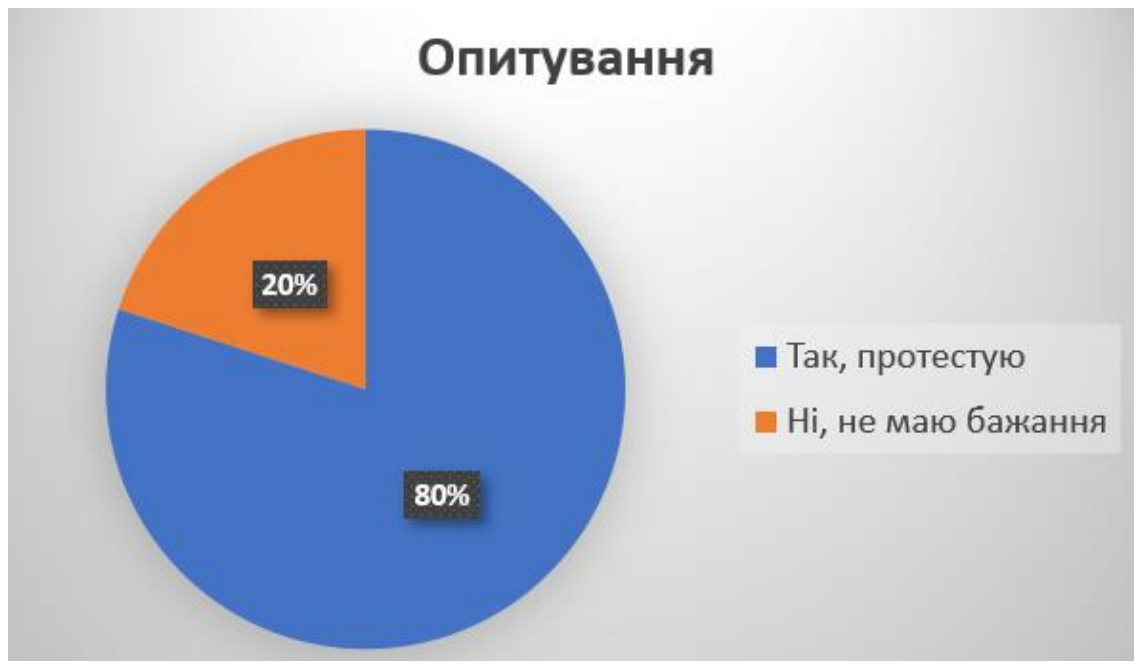


Рисунок 3.7 - Діаграма результату опитування

У скільки балів за 5-ти бальною шкалою оціните ваш юзерспірієнс від мобільного забезпечення? Результат: 10 - “5 балів”, 5 - “4 бали”.



Рисунок 3.8 - Діаграма результату опитування

ВИСНОВОК

У результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра, було розроблено апаратно-програмний комплекс. Реалізована система складається з апаратної частини на базі Arduino, датчиків та мобільного забезпечення для отримання зібраних даних та взаємодії з пристроями. Комплекс дозволяє в режимі реального часу досліджувати стан всередині бджолиних вуликів за чотирма показниками: вологість, температура, рівень шуму, рівень вуглекислого газу. Мобільне забезпечення інформує пасічника о будь-яких змінах показників, що дозволяє вчасно втрутитися та покращити умови бджолиних сімей, що значно поліпшить їх фізичний стан та зменшить смертність взимку [20]. Апаратно-програмний комплекс є інструментом для збору та аналізу статистики бджолиних сімей, що дозволяє вченим більш детально дослідити фізіологічні особливості та процеси бджіл. Примінений метод кореляції індивідуально для кожної пасіки. У перспективі зі зростанням вибірки показників можлива класифікація бджіл.

У ході розробки, було проведено аналіз предметної області та проблематики, складено план розробки, спроектована програмно-апаратна система, досконало досліджено теорію та проведені розрахунки, реалізовано та протестовано апаратно-програмний комплекс, а також визначено перспективи розробки продукту.

На етапі аналізу вимог до програмної системи було визначено функціональні, бізнес вимоги та проведено аналіз існуючих аналогів. При розробці системи, були враховані слабкі і сильні сторони аналогів.

На етапі проектування системи було визначено технології розробки, спроектовано архітектуру, спроектована база даних.

На етапі дослідження було визначено, спираючись на інтернаціональні статті, основні кліматичні показники для вимірювання та моніторингу.

Математичний метод кореляції реалізовано у програмній логіці для визначення найбільш впливових показників на продуктивність бджолиних родин та формування пріоритетів для них.

Розроблено веб сервер для отримання даних від апаратного комплексу та їх передачі до мобільного забезпечення.

Розроблено мобільне забезпечення для отримання даних з приладів та взаємодії з ними. Розробка мобільне забезпечення складається з таких етапів: 1) проектування; 2) розробка дизайн-макету (Figma); 3) реалізація мобільного забезпечення (Flutter).

Розроблено апаратну систему для безпосереднього моніторингу стану всередині вуликів.

При тестуванні програми сформовано сценарії тестування.

На етапі моделювання системи спроектовано та виготовлено на 3-D принтері пластмасовий кейс для апаратної складової на базі Arduino Uno та датчиків.

На етапі оцінювання перспективи розробки проаналізовано сильні сторони апаратно-програмного продукту, а також визначено перспективи по детальному дослідженню бджолиних сімей та їх класифікації в залежності від впливу на їх фізіологічні якості кліматичних факторів.

НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

1. “Дослідження стану бджолиних вуликів в реальному часі за допомогою апаратно-програмного комплексу” ; Вісник Вінницького Політехнічного Інституту;
<https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/index>
2. “Застосування методу кореляції в апаратно-програмному комплексі для виявлення сили взаємозв’язків між кліматичними факторами та продуктивністю бджолиних родин”; Науковий журнал Львівської Політехніки; <https://science.lpnu.ua/uk/ujit>

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт агропорталу;
<https://agroportal.ua/news/ukraine/ukraine-vyshla-na-vtoroe-mesto-v-mire-po-eksportu-meda/>; 2020 рік
2. Npr portal;
<https://www.npr.org/sections/thesalt/2019/06/19/733761393/more-bad-buzz-for-bees-record-numbers-of-honey-bee-colonies-died-last-winter?t=1640035820640>;
 2019 year
3. Смертність бджіл; <https://tass.ru/info/6734318>; 2019 рік
4. Проблема смертності бджіл;
<https://www.dw.com/ru/%D0%B2%D1%8B%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%4%D0%BE%D0%B3%D0%BE/a-50781406>; 2019 рік
5. Загально про занчення смертності бджіл; <https://www.fao.org/fao-stories/article/ru/c/1194604/>; 2020 рік
6. Bee mortality problem;
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-017-0573-8>; 2018 year, abstract
7. Influence of climatic conditions on bees;
<https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.02908-08>; 2018 year, 5 page
8. Influence of climatic conditions on bees; https://cob.silverchair-cdn.com/cob/content_public/journal/jeb/114/1/10.1242_jeb.114.1.1/1.pdf?Expires=1643683425&Signature=WBg1ZoGchkIqZXrofpklDo5IbcICEEE5~xkIUzAa5jyRm8V0K~4KhlrAhGqxlJYV5zROhAr9lZKG3MhZYfo3C-ExAQcXtOyZCA__&Key-Pair-Id=APKAIE5G5CRDK6RD3PGA; 2018, 4 page
9. Influence of climatic conditions on bees; <https://www.bee-mindful.com/post/2020/08/03/pros-and-cons-of-helping-bees-with-temperature-and-humidity-control-within-the-hive>; 2016 year
10. Influence of climatic conditions on bees;
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2019.0048>; 2019, 4 page

11. Influence of climatic conditions on bees;
<https://www.epa.gov/pollinator-protection/colony-collapse-disorder>; 7-9 page
12. Influence of climatic conditions on bees;
<https://www.wave3.com/2019/03/08/behind-forecast-buzz-behind-weather-impact-bees/>; 13p
13. Bee mortality problem; <https://www.epa.gov/pollinator-protection/colony-collapse-disorder>; 7-8 page
14. Correlation; <https://www.simplypsychology.org/correlation.html>;
15. Correlation; https://www.jmp.com/en_au/statistics-knowledge-portal/what-is-correlation.html; 3-12 pages
16. Database scheme; <https://www.lucidchart.com/pages/database-diagram/database-schema>; all pages
17. Database scheme;
https://www.tutorialspoint.com/dbms/dbms_data_schemas.htm; all pages
18. Arduino tutorials; <https://www.teacheron.com/online-arduino-programming-tutors>; 15-17 pages
19. Flutter tutors; <https://flutter.dev/learn>; all material
20. Influence of bees; <https://theconversation.com/bees-how-important-are-they-and-what-would-happen-if-they-went-extinct-121272>; 2019 year

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

1. Розробка Web серверу:

```

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include "DHT.h"
#include "KY..h"
#include "MQ.h"

//Const
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

byte mac[] = {
  0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // Мак адреса

EthernetClient client;

//Змінні
unsigned long int timeConn = millis(); // Частота відправки серверу
float h; // Значення температури
float t; // Значення вологості
float n; // Значення гучності
float c; // Значення вуглекислого газу
char server[] = "site.ua";

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Ethernet.begin(mac);
  dht.begin();
}

void loop() // тіло програми
{
  h = dht.readHumidity();
  t = dht.readTemperature();
  n = dht.readNoise();
  c = dht.readCoy();
  if (millis() - timeConn > 2000) {
    sendData(t,h);
    timeConn = millis();
    Serial.println("CONNECT SERVER: Send temp/hum");
  }
}

void sendData(float t, float h, float n, float c) { // відправка 4 показників на сервер
  client.connect(server, 80);
  client.print( "GET /add.php?");
  client.print("k="); // спец код наприклад asREb25C
  client.print("&");
  client.print("t=");
  client.print(t);
  client.print("&");
  client.print("h=");
  client.print(h);
  client.print("&");
  client.print("n=");
}

```

```
client.print(n);
client.print("&");
client.print("c=");
client.print(c);

client.println(" HTTP/1.1");
client.print( "Host: " );
client.println(server);
client.println( "Connection: close" );
client.println();
client.println();
client.stop();
client.flush();
}
```

2. Реалізація методу кореляції (Python):

```
# generate related variables
```

```

from numpy import mean
from numpy import std
from numpy.random import randn
from numpy.random import seed
from matplotlib import pyplot
# seed random number generator
seed(1)
# prepare data
data1 = 20 * randn(1000) + 100
data2 = data1 + (10 * randn(1000) + 50)
# summarize
print('data1: mean=%.3f stdv=%.3f' % (mean(data1), std(data1)))
print('data2: mean=%.3f stdv=%.3f' % (mean(data2), std(data2)))
# plot
pyplot.scatter(data1, data2)
pyplot.show()

```

Зчитування вибірки з csv файлу:

```

import pandas as pd
import csv
# rs = pd.DataFrame.from_csv(r'D:/Clustering_TOP.csv',encoding='utf-8')
rs = pd.read_csv(r'D:/Clustering_TOP.csv',encoding='utf-8')

with open('D:/Clustering_TOP.csv','r') as csvfile:
    reader = csv.reader(csvfile)
    rows = [row for row in reader]
csv_title = rows[0]
csv_title = csv_title[1:]
len_csv_title = len(csv_title)
for i in range(len_csv_title):
    for j in range(i+1,len_csv_title):
        print(str(csv_title[i]) + "_" + str(csv_title[j]) + " = " + str(rs[csv_title[i]].corr(rs[csv_title[j]])), end='\t')
    print()

```

3. Реалізація мобільного забезпечення (Flutter/Dart):

main.dart

```

import 'dart:async';

import 'package:flutter/material.dart';
import 'package:flutter_blue/flutter_blue.dart';
import 'package:temperaturemonitor/sensor.dart';
import 'package:temperaturemonitor/widgets.dart';

import 'homeui.dart';

void main() {
  runApp(FlutterBlueApp());
}

class FlutterBlueApp extends StatelessWidget {
  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    return MaterialApp(
      debugShowCheckedModeBanner: false,
      color: Colors.lightBlue,
      home: StreamBuilder<BluetoothState>(
        stream: FlutterBlue.instance.state,
        initData: BluetoothState.unknown,
        builder: (c, snapshot) {
          final state = snapshot.data;
          if (state == BluetoothState.on) {
            return FindDevicesScreen();
          }
          return BluetoothOffScreen(state: state);
        }
      ),
    );
  }
}

class BluetoothOffScreen extends StatelessWidget {
  const BluetoothOffScreen({Key key, this.state}) : super(key: key);

  final BluetoothState state;

  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    return Scaffold(
      backgroundColor: Colors.lightBlue,
      body: Center(
        child: Column(
          mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.min,
          children: <Widget>[
            Icon(
              Icons.bluetooth_disabled,
              size: 200.0,
              color: Colors.white54,
            ),
            Text(
              'Bluetooth Adapter is ${state.toString().substring(15)}.',
              style: Theme.of(context)
                .primaryTextTheme
                .subhead
                .copyWith(color: Colors.white),
            ),
          ],
        ),
      );
  }
}

```

```

}

class FindDevicesScreen extends StatelessWidget {
  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    return Scaffold(
      appBar: AppBar(
        title: Text('Find Devices'),
      ),
      body: RefreshIndicator(
        onRefresh: () =>
          FlutterBlue.instance.startScan(timeout: Duration(seconds: 4)),
        child: SingleChildScrollView(
          child: Column(
            children: <Widget>[
              StreamBuilder<List<BluetoothDevice>>(
                stream: Stream.periodic(Duration(seconds: 2))
                  .asyncMap((_) => FlutterBlue.instance.connectedDevices),
                initialData: [],
                builder: (c, snapshot) => Column(
                  children: snapshot.data
                    .map((d) => ListTile(
                      title: Text(d.name),
                      subtitle: Text(d.id.toString()),
                      trailing: StreamBuilder<BluetoothDeviceState>(
                        stream: d.state,
                        initialData: BluetoothDeviceState.disconnected,
                        builder: (c, snapshot) {
                          if (snapshot.data ==
                            BluetoothDeviceState.connected) {}
                          return Text(snapshot.data.toString());
                        },
                      ),
                    ),
                ),
              ),
            ).toList(),
          ),
        ),
      ),
      StreamBuilder<List<ScanResult>>(
        stream: FlutterBlue.instance.scanResults,
        initialData: [],
        builder: (c, snapshot) => Column(
          children: snapshot.data
            .map(
              (r) => ScanResultTile(
                result: r,
                onTap: () => Navigator.of(context)
                  .push(MaterialPageRoute(builder: (context) {
                    r.device.connect();
                    return SensorPage(device: r.device);
                  })),
              ),
            ),
          ).toList(),
        ),
      ),
    ],
  ),
  ),
  floatingActionButton: StreamBuilder<bool>(
    stream: FlutterBlue.instance.isScanning,
    initialData: false,
    builder: (c, snapshot) {

```

```

if (snapshot.data) {
  return FloatingActionButton(
    child: Icon(Icons.stop),
    onPressed: () => FlutterBlue.instance.stopScan(),
    backgroundColor: Colors.red,
  );
} else {
  return FloatingActionButton(
    child: Icon(Icons.search),
    onPressed: () => FlutterBlue.instance
      .startScan(timeout: Duration(seconds: 4)); } }, ), ); }

```

sensor.dart

```

import 'dart:async';
import 'dart:convert' show utf8;

import 'package:flutter/material.dart';
import 'package:flutter_blue/flutter_blue.dart';

import 'homeui.dart';

class SensorPage extends StatefulWidget {
  const SensorPage({Key key, this.device}) : super(key: key);
  final BluetoothDevice device;

  @override
  _SensorPageState createState() => _SensorPageState();
}

class _SensorPageState extends State<SensorPage> {
  String service_uuid = "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b";
  String characteristic_uuid = "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8";
  bool isReady;
  Stream<List<int>> stream;
  List _temphumidata;
  double _temp = 0;
  double _humidity = 0;
  @override
  void initState() {
    super.initState();
    isReady = false;
    connectToDevice();
  }

  void dispose() {
    widget.device.disconnect();
    super.dispose();
  }

  connectToDevice() async {
    if (widget.device == null) {
      _pop();
      return;
    }

    new Timer(const Duration(seconds: 15), () {
      if (!isReady) {
        disconnectFromDevice();
        _pop();
      }
    });
  }

```

```

    await widget.device.connect();
    discoverServices();
  }

  disconnectFromDevice() {
    if (widget.device == null) {
      _pop();
      return;
    }

    widget.device.disconnect();
  }

  discoverServices() async {
    if (widget.device == null) {
      _pop();
      return;
    }

    List<BluetoothService> services = await widget.device.discoverServices();
    services.forEach((service) {
      if (service.uuid.toString() == service_uuid) {
        service.characteristics.forEach((characteristic) {
          if (characteristic.uuid.toString() == charaCteristic_uuid) {
            characteristic.setNotifyValue(!characteristic.isNotifying);
            stream = characteristic.value;

            setState() {
              isReady = true; }); }); }); });

      if (!isReady) {
        _pop();
      }
    }

    Future<bool> _onWillPop() {
      return showDialog(
        context: context,
        builder: (context) =>
          new AlertDialog(
            title: Text('Are you sure?'),
            content: Text('Do you want to disconnect device and go back?'),
            actions: <Widget>[
              new FlatButton(
                onPressed: () => Navigator.of(context).pop(false),
                child: new Text('No')),
              new FlatButton(
                onPressed: () {
                  disconnectFromDevice();
                  Navigator.of(context).pop(true);
                },
                child: new Text('Yes')),
            ],
          ) ??
        false); }

    _pop() {
      Navigator.of(context).pop(true);
    }

    String _dataParser(List<int> dataFromDevice) {
      return utf8.decode(dataFromDevice);
    }

```

```

@override
Widget build(BuildContext context) {
  return WillPopScope(
    onWillPop: _onWillPop,
    child: Scaffold(
      appBar: AppBar(
        title: Text('dht11 Sensor'),
      ),
      body: Container(
        child: !isReady
          ? Center(
              child: Text(
                "Waiting...",
                style: TextStyle(fontSize: 24, color: Colors.red),
              ),
            )
          : Container(
              child: StreamBuilder<List<int>>(
                stream: stream,
                builder: (BuildContext context,
                  AsyncSnapshot<List<int>> snapshot) {
                  if (snapshot.hasError)
                    return Text('Error: ${snapshot.error}');

                  if (snapshot.connectionState ==
                    ConnectionState.active) {
                    // geting data from bluetooth
                    var currentValue = _dataParser(snapshot.data);
                    _temphumidata = currentValue.split(",");
                    if (_temphumidata[0] != "nan") {
                      _temp = double.parse("${_temphumidata[0]}");
                    }
                    if (_temphumidata[1] != "nan") {
                      _humidity = double.parse("${_temphumidata[1]}");
                    }

                    return HomeUI(
                      humidity: _humidity,
                      temperature: _temp,
                    );
                  } else {
                    return Text('Check the stream');
                  }
                }, ), ), ); } }

```

widget.dart

```

import 'package:flutter/material.dart';
import 'package:flutter_blue/flutter_blue.dart';

class ScanResultTile extends StatelessWidget {
  const ScanResultTile({Key key, this.result, this.onTap}) : super(key: key);

  final ScanResult result;
  final VoidCallback onTap;

  Widget _buildTitle(BuildContext context) {
    if (result.device.name.length > 0) {
      return Column(
        mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.start,
        crossAxisAlignment: CrossAxisAlignment.start,
        children: <Widget>[
          Text( result.device.name,

```



```

        overflow: TextOverflow.ellipsis, ),
        Text( result.device.id.toString(),
        style: Theme.of(context).textTheme.caption ), ], );
    } else {
        return Text(result.device.id.toString());
    } }
String getNiceHexArray(List<int> bytes) {
    return '[$ {bytes.map((i) => i.toRadixString(16).padLeft(2, '0')).join(', ')}]'
        .toUpperCase();
}
@override
Widget build(BuildContext context) {
    return ExpansionTile(
        title: _buildTitle(context),
        leading: Text(result.rssi.toString()),
        trailing: RaisedButton(
            child: Text('CONNECT'),
            color: Colors.black,
            textColor: Colors.white,
            onPressed: (result.advertisementData.connectable) ? onTap : null,
        ),
        children: <Widget>[],
    );
}
}

class ServiceTile extends StatelessWidget {
    final BluetoothService service;
    final List<CharacteristicTile> characteristicTiles;

    const ServiceTile({Key key, this.service, this.characteristicTiles})
        : super(key: key);

    @override
    Widget build(BuildContext context) {
        if (characteristicTiles.length > 0) {
            return ExpansionTile(
                title: Column(
                    mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.center,
                    crossAxisAlignment: CrossAxisAlignment.start,
                    children: <Widget>[
                        Text('Service'),
                        Text('0x${service.uuid.toString().toUpperCase().substring(4, 8)}',
                            style: Theme.of(context)
                                .textTheme
                                .body1
                                .copyWith(color: Theme.of(context).textTheme.caption.color))
                    ] ),
                children: characteristicTiles,
            );
        } else {
            return ListTile(
                title: Text('Service'),
                subtitle:
                    Text('0x${service.uuid.toString().toUpperCase().substring(4, 8)}'),
            ); } }
}

class CharacteristicTile extends StatelessWidget {
    final BluetoothCharacteristic characteristic;
    final List<DescriptorTile> descriptorTiles;
    final VoidCallback onReadPressed;
    final VoidCallback onWritePressed;
    final VoidCallback onNotificationPressed;
}

```

```

const CharacteristicTile(
  {Key key,
  this.characteristic,
  this.descriptorTiles,
  this.onReadPressed,
  this.onWritePressed,
  this.onNotificationPressed})
  : super(key: key);
@override
Widget build(BuildContext context) {
  return StreamBuilder<List<int>>(
    stream: characteristic.value,
    initialData: characteristic.lastValue,
    builder: (c, snapshot) {
      final value = snapshot.data;
      return ExpansionTile(
        title: ListTile(
          title: Column(
            mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.center,
            crossAxisAlignment: CrossAxisAlignment.start,
            children: <Widget>[
              Text('Characteristic'),
              Text(
                '0x${characteristic.uuid.toString().toUpperCase().substring(4, 8)}',
                style: Theme.of(context).textTheme.body1.copyWith(
                  color: Theme.of(context).textTheme.caption.color) ),
              subtitle: Text(value.toString()),
              contentPadding: EdgeInsets.all(0.0), ),
            trailing: Row(
              mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.min,
              children: <Widget>[
                IconButton(
                  icon: Icon(
                    Icons.file_download,
                    color: Theme.of(context).iconTheme.color.withOpacity(0.5), ),
                  onPressed: onReadPressed, ),
                IconButton(
                  icon: Icon(Icons.file_upload,
                    color: Theme.of(context).iconTheme.color.withOpacity(0.5)),
                  onPressed: onWritePressed, ),
                IconButton(
                  icon: Icon(
                    characteristic.isNotifying
                    ? Icons.sync_disabled
                    : Icons.sync,
                    color: Theme.of(context).iconTheme.color.withOpacity(0.5)),
                  onPressed: onNotificationPressed,
                ), ], ),
          children: descriptorTiles ), ), }
class DescriptorTile extends StatelessWidget {
  final BluetoothDescriptor descriptor;
  final VoidCallback onReadPressed;
  final VoidCallback onWritePressed;

```

4. Підключення датчиків до Arduino Uno:

KY-037:

```
void setup() {
```

```

pinMode(12,OUTPUT); // пин 12 со светодиодом будет выходом (англ. «output»)
pinMode(A0,INPUT); // к аналоговому входу A0 подключим датчик (англ. «input»)
Serial.begin(9600); // подключаем монитор порта
}

void loop() {
  Serial.println (analogRead(A0));
}
}

```

Esp8266:

```
#define TXD 1 // GPIO1/TXD01
```

```

void setup() {
  pinMode(TXD, OUTPUT);
}

```

```

void loop() {
  digitalWrite(TXD, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(TXD, LOW);
  delay(1000);
}

```

DHT11

```
#include <DHT.h> // подключаем библиотеку для датчика
DHT dht(2, DHT11); // сообщаем на каком порту будет датчик
```

```

void setup() {
  dht.begin(); // запускаем датчик DHT11
  Serial.begin(9600); // подключаем монитор порта
}

```

```

void loop() {
  // считываем температуру (t) и влажность (h)
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();

  // выводим температуру (t) и влажность (h) на монитор порта
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.println(h);
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.println(t);
}

```

MQ-135

```

const int digitalSignal = 8; //подключение цифрового сигнального пина
boolean noGas;
int gasValue = 0;

void setup() {
  pinMode(digitalSignal, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

```

```

void loop() {
  noGas = digitalRead(digitalSignal);
  gasValue = analogRead(analogSignal);
}

```

```
Serial.print("There is ");  
if (noGas) Serial.print("no gas");  
else Serial.print("gas");  
Serial.print(", the gas value is ");  
Serial.println(gasValue);  
  
delay(1000);  
}
```